IDEI
CONTEMPORANE

NOUA ALIANȚĂ

Metamorfoza științei

ILYA PRIGOGINE
și
ISABELLE STENGERS

EDITURA POLITICĂ

IDEI CONTEMPORANE

ILYA PRIGOGINE
şi
ISABELLE STENGERS

NOUA ALIANŢĂ

Metamorfoza ştiinţei

Prefaţă:
IONEL I. PURICA
În româneşte de:
CRISTINA BOICO şi ZOE MANOLESCU

1984

EDITURA POLITICĂ
BUCUREŞTI

Redactor: MARIA ALEXE
Coperta: VALENTINA BOROȘ

ILYA PRIGOGINE și ISABELLE STENGERS

LA NOUVELLE ALLIANCE

Métamorphose de la science

ÉDITIONS GALLIMARD, 1979

Prefață

Ideile principale ale unei teorii științifice ne pot da o imagine despre lume, imagine ce trebuie să poată îmbrăca și o haină intuitivă, chiar cu implicații sentimentale, devenind accesibilă rațiunii omului obișnuit, nespecializat. Teoriile devin astfel instrumente de gîndire cu consecințe pentru comportarea socială a omului și chiar cu consecințe pentru evoluția societății în întregul ei. Aceste consecințe se repercutează asupra bazei materiale prin tehnologiile asociate cu teoriile respective. Nu trebuie să uităm însă că adoptarea unei linii de evoluție tehnologică sau a alteia depinde de decizia noastră, iar aceasta este determinată la rîndul ei de concepția noastră despre lume, care este rezultatul marilor teorii ale științei. Așa s-a întîmplat cu fizica lui Descartes, așa s-a întîmplat cu fizica lui Newton, chiar dacă pentru ultima ar fi să amintim numai succesul cu care Voltaire o populariza în saloanele Parisului. Aceeași evoluție a suferit-o și teoria relativității la începutul secolului, iar pentru mecanica cuantică procesul continuă și astăzi.

Pătrunderea marilor teorii în conștiința oamenilor prin modificarea imaginii lor despre lume provoacă în mod inerent o reacție naturală a diferitelor sisteme filozofice, care sînt puse în situația de a-și reanaliza tezele de bază în raport cu noile concepte ale teoriilor științei.

Desigur că omul de știință, autor al unei teorii, este el însuși un element al unei societăți, în care s-a format într-un climat intelectual dominat de o anume concepție filozofică. Dar, prin însuși fap-

tul că a fost capabil să depășească nivelul științei particulare și să descopere fapte noi, consecințe de cele mai multe ori ale capacității de a construi teorii bazate pe concepte și structuri de gîndire ce depășesc moștenirea socială pe care și-a însușit-o, el aduce inerent și un progres în domeniul filozofiei.

Pe această linie, ne-am obișnuit ca oamenii de știință care au reușit să împingă frontierele cunoașterii atît de departe — indiferent în ce domeniu al științei — să transmită contemporanilor lor, o dată cu noutatea descoperită, și modul cum aceasta se implică în concepția filozofică, să ne facă adică să privim realitatea în care ne desfășurăm viața noastră nu numai în ce privește infrastructura ci și suprastructura ei. Am aminti aici lucrările de acest gen ale lui A. Einstein, Niels Bohr, A. Kastler, Fr. Jacob și J.L. Monod, pentru a nu da decît cîteva exemple. Atari întreprinderi sînt echivalente pentru noi, toți cei ce asistăm la ele, cu oferirea unor piese în care oamenii de știință se dezbracă de haina limbajului specializat, lăsîndu-ne posibilitatea să întrevedem mișcările de idei, jocul de concepte, drama desprinderii de prejudecățile obsedante cu care a fost învăluită știința făcută de alții pînă cînd a ajuns la porțile inteligenței lor. În același timp, astfel de lucrări au valoare de document istoric, căci ele ne relevă modul cum autorii lor văd integrarea în tezaurul de cunoaștere actual a pasului înainte făcut de ei pe frontul științei, precum și implicațiile pe care le-ar putea avea în mutațiile posibile ale concepției noastre despre lume.

În această categorie de preocupări se înscrie lucrarea „Noua alianță", cu subtitlul „Metamorfoza științei", pe care cunoscutul savant Ilya Prigogine, Premiul Nobel pentru chimie în anul 1977, ne-o oferă împreună cu Isabelle Stengers.

Prin lucrările sale, poziția lui Prigogine se situează între fizică și biologie sau, poate, mai corect se poate spune că el face parte și din fizică și din biologie.

Contribuţiile sale privesc acel domeniu al fizicii, căruia nu de puţine ori i s-a pus la îndoială caracterul de ştiinţă: *termodinamica.*

Termodinamica are o origine pragmatică. Carnot a pornit de la o problemă practică: îmbunătăţirea randamentului maşinilor cu abur de la începutul secolului al XIX-lea. Teoretizarea ideilor lui, făcută cu peste un sfert de secol mai tîrziu de către Clausius şi Lord Kelvin au impus un concept nou, acela de *entropie.* Denumirea însăşi este semnificativă, *entropie* însemnînd în limba greacă *evoluţie.*

Entropia ocupă un loc special în fizică, ca şi în opera lui Prigogine. Este prima mărime care iese din canoanele fizicii newtoniene. Atît masa, impulsul, momentul de rotaţie, energia cît şi spaţiul rămîneau invariante la anume transformări şi puteau fi corelate cu anume simetrii, ceea ce le conferea o valoare universală în timp şi avea drept consecinţă ideea de imuabilitate, de permanenţă a legilor în care intrau aceste mărimi. Entropia nu este conservativă. Ea creşte în timp şi poate fi considerată ca o măsură a evoluţiei, deci poate fi asociată cu scurgerea timpului. Pentru a evita păşirea pe un teren care li se părea poate alunecos, termodinamicienii secolului trecut au introdus conceptul de transformări reversibile, infinit de lente. În procesele în care aveau loc astfel de transformări, entropia rămînea constantă. Termodinamica devenea o ştiinţă a proceselor reversibile, lăsînd termotehnicii sarcina de a se descurca în mod empiric cu procesele ireversibile.

Un al doilea concept care joacă un rol deosebit în opera lui I. Prigogine este cel introdus de Boltzmann. Acesta consideră entropia ca o măsură a dezordinii, ceea ce implică imediat conceptul de probabilitate a unei stări a sistemului termodinamic şi de *fluctuaţie* a mărimilor ce caracterizează starea.

Al treilea concept apare din încercările de a analiza procesele din sistemele cu viaţă, utilizînd termodinamica şi chiar mecanica statistică, încercări

care s-au lovit de o contradicție. Un sistem termodinamic este în echilibru stabil dacă entropia este maximă, deci dacă dezordinea sa este maximă. Natura ne oferă însă exemple de sisteme care se află în regim staționar și în același timp păstrează o structură ordonată. Dacă în fizică astfel de sisteme treceau drept curiozități, ca fenomenul Bénard, nimeni nu putea nega existența sistemelor cu viață, caracterizate printr-o organizare atît morfologică cît și dinamică.

Îi datorăm lui Prigogine clarificarea și eliminarea acestei contradicții aparente: echilibrul termodinamic este specific sistemelor izolate, în timp ce sistemele cu viață sînt *sisteme deschise*, care fac schimb de energie și de masă, deci pentru ca să existe au nevoie de un *mediu adecvat*. Sistemele cu viață, și deci și procesele chimice care au loc în ele sînt *disipative*, ele preiau energie și masă de repaus sub o anumită formă (căldură, respectiv molecule chimice) din mediu și le elimină sub altă formă, asigurîndu-și astfel menținerea structurii ordonate. Sistemele disipative pot avea stări de echilibru diferite de echilibrul termodinamic. Ele există însă datorită unui flux continuu de energie și masă între ele și mediu. Pentru ca să-și păstreze structura ordonată, caracterizată printr-o micșorare de entropie față de starea de echilibru termodinamic, sistemele disipative fac să crească mai repede entropia mediului.

Există legi care să reglementeze schimbul de entropie dintre mediu și sistemul cu viață? Prigogine este acela care, într-o celebră teoremă publicată în 1945, în Buletinul Academiei Regale Belgiene, stabilește că: viteza de creștere a entropiei trebuie să fie minimă.

Urmează apoi, an de an, rezultate remarcabile care fac să se creeze o adevărată școală în jurul lui Prigogine. Realizările acumulate în peste treizeci de ani de activitate sînt sintetizate în 1977 în cartea „Autoorganizare în sistemele departe de echilibru", sub semnătura lui G. Nicolis și I. Prigogine, carte ce poartă subtitlul „De la structurile disipative la ordinea prin fluctuații".

Am menționa, de asemenea caracteristică pentru concepția lui Prigogine, lucrarea apărută în 1980 „De la ființare la devenire", cu subtitlul specific „Timpul și complexitatea în științele fizice".

Termenii specifici universului prigoginian se desprind cu claritate: „sisteme disipative", „departe de echilibrul termodinamic", „autoorganizare", „ordine prin fluctuații", „ireversibilitate" și „complexitate". Toate acestea pe un fundal evolutiv de la stare la transformare.

A intrat în literatura monografică de fizica stărilor staționare departe de echilibrul termodinamic *„criteriul general de evoluție"* al lui Glansdorff și Prigogine (1955), pentru sisteme nelineare, criteriu care se reduce la teorema lui Prigogine pentru regimuri lineare dar ireversibile, așa cum fuseseră studiate de Onsager în deceniul al patrulea.

Dezvoltarea teoriei sistemelor nelineare, a stărilor staționare, altele decît cele ale echilibrului termodinamic clasic, stări caracterizate printr-o structură ordonată și un principiu de evoluție în care fluctuațiile joacă un rol esențial, în special în jurul regimurilor în care poate apărea o bifurcație de stări posibile, îl conduce pe Prigogine la o imagine a evoluției speciilor chimice în sisteme fără sau cu viață, în care hazardul și necesitatea își găsesc o formă de coexistență specifică.

În cartea „Noua alianță", a lui I. Prigogine împreună cu I. Stengers, sîntem conduși într-un mod magistral de la imaginea omului situat în exteriorul universului la noua concepție spre care ne împing rezultatele obținute de dezvoltarea termodinamicii, la reintegrarea armonioasă a omului în cadrul naturii, într-o poziție pe care numai fizica pre-copernicianã i-a mai acordat-o.

Este remarcabilă scoaterea în evidență a deosebirii pregnante între cele două atitudini privind devenirea, schimbarea, mișcarea: cea a dinamicii mecanice și cea a termodinamicii ireversibile și nelineare. Prima, cea specifică raționalismului mecanicii clasice, a „dinamicii", cu toată pretenția ei de raționalism și obiectivitate, lasă să se stre-

coare prin ușa din dos o concepție antropomorfică. Dacă omul poate să producă prin acțiunea sa schimbări de stări ale naturii, atunci cine sau ce poartă responsabilitatea pentru schimbările care apar fără intervenția sa? Era normal, pe această linie, ca răspunsul să fie că mișcarea se datorează unei „forțe" care acționează din exterior asupra „maselor", că traiectoriile acestora sînt bine determinate dacă știm forța și condițiile inițiale. O astfel de mentalitate ne apropie de lumea cerească aristotelică, pură și incoruptibilă, în care hazardul nu poate pătrunde decît în mod subiectiv, prin lipsa noastră de cunoaștere a stării inițiale.

Asistăm, în această descriere pe care Prigogine și Stengers o numesc „dinamică", la o separare a „naturii" de „omul care o descrie pentru ca să o poată manipula". Apare un divorț între om și natură. Omul este stăpînul, iar natura trebuie să se supună, iar pentru a o stăpîni omul trebuie să ajungă la starea de cunoaștere cerută de Laplace, adică să știe legile dinamicii și starea ei, poziția și viteza tuturor particulelor elementare din univers la un moment dat. De asemenea, el trebuie să ajungă la posibilitatea de manipulare a demonului lui Maxwell care poate concentra într-un volum dat toate particulele cu o anumită stare, de exemplu cu viteze mari, învingînd tendința de uniformizare a naturii prin realizarea echilibrului termodinamic.

Poate că această iluzie, că omul poate avea la limită mijloacele de cunoaștere și de manipulare a naturii pentru ca să o aducă în starea pe care el o dorește, a fost compensația pe care „dinamica", începînd cu Copernic, Galilei și Newton și sfîrșind cu Einstein, a oferit-o omului atunci cînd l-a detronat din centrul universului, pămîntul fiind o biată planetă a unei stele mărunte dintr-o galaxie. Această senzație de putere este, însă, iluzorie; ea ne restrînge universul numai la acea parte a naturii pe care dinamica este capabilă

să o descrie, la acele mașini care ascultă de legile mecanicii, fie ele chiar calculatoare electronice de mare viteză.

Extrapolarea acestor idei în domeniul biologiei de către Monod conduce la o marcare explicită a izolării omului de natură. Pentru el, viața apare datorită unui hazard, care rămîne factorul principal de evoluție prin mutații, dar acestea sînt urmate de o evoluție fixată prin legi necesare. Deși avem și aici un mariaj între hazard și necesitate, Monod îl interpretează în mod pesimist, „el smulge ființa vie din ordinea neanimată a naturii și o transformă într-o ființă care trăiește un timp împrumutat, la marginea unui univers în care ea reprezintă o particularitate ciudată și neașteptată".

În „Noua alianță" vom vedea reacția la această mentalitate, o reacție în care hazardul și necesitatea sînt factori ce implică viața și inteligența în interiorul universului, cu condiția să depășim mentalitatea dinamică, newtoniană.

Autorii expun fizica newtoniană într-o lumină specifică pentru cei care se ocupă de depășirea ei înspre mecanica statistică și termodinamica proceselor ireversibile, nelineare. Pentru ei, neglijarea activității de alchimist a lui Newton a făcut de multe ori ca acesta să fie considerat primul raționalist în știință. Această idee este dezmințită de atitudinea enciclopediștilor francezi, succesori ai raționalismului cartezian, d'Alembert, Clairaut și Buffon. Ei credeau în 1747 că au și putut demonstra faptul că natura nu confirmă universalitatea forței de gravitație. Ni se pare interesantă imaginea unei geneze a legii gravitației care nu este străină de activitatea de alchimist a lui Newton: „Newton căuta în cer forțe analoage cu forțele chimice, cu afinitățile care constituie proprietăți specifice, diferite pentru fiecare compus chimic, conferind astfel, fiecăruia o activitate calitativ diferențiată: el a descoperit o lege universală, afirmînd de aici înainte validitatea ei pentru toate fenomenele chimice, mecanice,

cereşti. Aşadar, sinteza newtoniană nu reprezintă o ruptură, ci *o surpriză*. Este vorba de o descoperire neaşteaptată, răscolitoare, pe care cultura o comemorează făcînd din Newton simbolul însuşi al ştiinţei moderne".

Pentru I. Prigogine şi I. Stengers, ştiinţa modernă avînd ca prototip dinamica „s-a născut din ruptura unei alianţe animiste cu natura; în lumea aristotelică, omul părea să-şi găsească locul atît ca fiinţă vie cît şi ca fiinţă ce cunoaşte lumea; lumea era pe măsura lui, cunoaşterea intelectuală atingea însuşi principiul lucrurilor, cauza şi raţiunea finală a devenirii lor, ... : ştiinţa lui Newton, acest Moise modern, căruia i s-a dezvăluit adevărul asupra lumii, este o ştiinţă *revelată*, definitivă, străină contextului social şi istoric ... ".

„Natura pe care o presupune dinamica clasică este o natură în acelaşi timp lipsită de memorie, lipsită de istorie şi determinată în întregime de trecutul ei, este o natură indiferentă, pentru care orice stare este echivalentă, o natură fără relief, plată şi omogenă ... ".

A încerca să priveşti din exterior cartea lui Prigogine şi Stengers ar însemna să trădezi ideea care formează fundalul conceptual al cărţii şi anume integrarea omului în universul din mijlocul căruia a apărut şi pe care îl poate cunoaşte numai în mod dialectic, situîndu-se în interiorul lui. Ideea de coerenţă, al cărei germene autorii îl recunosc încă din descrierea obiectelor cuantice, capătă un caracter general. Integrarea omului ca fiinţă inteligentă în cadrul mediului său, universul cunoscut, este supusă aceleiaşi coerenţe, bază a structurilor complexe, organizate.

Descrierea acestor structuri se poate face graţie dezvoltării termodinamicii, care aduce o nouă concepţie în relaţiile dintre om şi natură. Ideea de bază pe care o impune termodinamica, în opoziţie cu cea a mecanicii clasice, este că natura privilegiază anumite stări în care sistemele fizice sînt atrase şi de care nu se pot îndepărta spontan datorită ireversibilităţii.

Ireversibilitatea a fost considerată în termodinamică în mod subiectiv de către Gibbs. Pentru el, cauza ireversibilității se datorește necunoașterii de către noi a stărilor inițiale ale sistemului, concepție generată de mentalitatea că termodinamica se ocupă de manipularea și exploatarea sistemului.

Trebuie să facem un salt de idei, împreună cu Prigogine, și să luăm în considerare fluctuațiile care, în jurul unei stări stabile, în loc de a se atenua, se pot amplifica, făcînd ca ireversibilitatea să devină constructivă: „sistemul dobîndește o autonomie definită prin diferitele moduri în care se poate desfășura activitatea sa pentru același ansamblu de condiții la limită. De acum înainte, descrierea acestei activități și nu manipularea și explorarea sistemului, constituie problema termodinamicii".

Prigogine ne propune o nouă termodinamică, în care sistemele reale sînt nelineare în general și, deci, au stări în care pot apărea bifurcații, adică în loc de o stare posibilă sistemul are la dispoziție două stări, care pot deveni stări staționare, departe de echilibrul termodinamic. Considerarea unor astfel de stări conduce la situații cu care, oricît de straniu ni s-ar părea, va trebui să ne obișnuim cu timpul și vom ajunge să ni se pară familiare: „ ... departe de echilibru materia începe să-și «perceapă» mediul, să distingă între micile diferențe care, în cazul echilibrului, ar fi nesemnificative ... Fluctuațiile departe de echilibru permit folosirea diferențelor din mediu pentru a produce structuri diferite. Să subliniem încă o dată importanța unică a condițiilor stării departe de echilibru — «comunicarea» și «perceperea» sînt cuvinte cheie pentru noul comportament al materiei departe de echilibru".

Atunci cînd Prigogine, în operele sale, ca de exemplu în lucrarea „De la ființare la devenire" (1980), face o deosebire între dinamică și termodinamică, el are în vedere în special incompatibilitatea dintre principiul al doilea al termodi-

namicii și dinamica newtoniană sau chiar cea cuantică. Cu toate eforturile lui Boltzmann, reluate în teoria ansamblurilor de Gibbs și apoi de Einstein, de a da o interpretare entropiei la scară microscopică utilzînd numai conceptele dinamice, rămîne valabilă o teoremă a lui Poincaré, extinsă de curînd de către Misra la teoria lui Gibbs. Această teoremă demosntrează că nu există o interpretare dinamică a legii a doua a termodinamicii. Deci, termodinamica și dinamica sînt incompatibile în imaginea clasică. Succesul concepției lui Boltzmann despre entropie nu se datorește faptului că aceasta este dedusă din dinamică, ci că ireversibilitatea este postulată de la început în ecuația Boltzmann.

Ni se pare că Prigogine aduce o contribuție remarcabilă atunci cînd propune introducerea unei entropii la scară microscopică extinzînd la situații clasice conceptul de operator din mecanica cuantică, pentru a realiza programul pe care și-l propusese Poincaré. Acest procedeu include ireversibilitatea încă de la nivelul microscopic, dar aceasta implică acceptarea unei complementarități între descrierea dinamică și entropie, care există numai în cazul unor sisteme suficient de complexe.

Dacă entropia este o măsură a ireversibilității ea nu poate fi necorelată cu ceea ce numim timp și „săgeata timpului".

Autorii introduc două timpuri: timpul asociat, cu traiectoriile din mecanica newtoniană, un „timp exterior", și timpul definit de variația distribuțiilor de probabilități asociate cu sistemele termodinamice, un „timp interior", ce poate fi asociat cu un operator ce descrie entropia. Între cele două timpuri avem o relație de nedeterminare, nu le putem descrie simultan cu aceeași precizie pe amîndouă.

Toată cartea este dominată de obsesia trecerii de la o descriere dinamică, în sensul mecanicii clasice extinsă prin teoria relativității și mecanicii cuantice, descriere deterministă prin asoci-

erea condițiilor inițiale cu legile imuabile dinamice, de evoluție, la descrierea „termodinamică", cu principalele caracteristici ireversibilitatea, cu o evoluție caracterizată prin asocierea fluctuațiilor, a hazardului cu determinismul, a posibilităților multiple apărute prin bifurcarea succesivă a soluțiilor disponibile, ceea ce deschide calea către „alegere" și „decizie", deci către o evoluție determinată finalist. O finalitate care își face loc în știință fără aura de subiectivism a secolelor trecute, chiar împotriva subiectivismului gibbsian.

Este oare pledoaria lui Prigogine și Stengers în favoarea trecerii de la descrierea dinamică la cea termodinamică începutul sesizării conștiente a unei noi complementarități în descrierea naturii între descrierea cauzală și cea finalistă sau în universul nostru avem stări care pot fi descrise în cadru determinist dinamic și altele care necesită un alt tip de descriere, care să țină seama de capacitatea de autoorganizare specifică sistemelor chimice complicate și sistemelor cu viață? Această capacitate poate fi descrisă numai prin ecuații neliniare, care pot da evoluții ce au comportări complet diferite chiar atunci cînd condițiile inițiale diferă foarte puțin, sau evoluții ce la anume variații cantitative ale parametrilor specifici pot suferi brusc treceri la stări calitativ diferite. Apar astfel puncte de bifurcație peste care sistemul poate avea nu o singură stare, ci două stări diferite. Care este cea pe care sistemul „o va avea" sau poate „o va alege"? Așa cum am văzut, în teoria lui Prigogine un rol important îl joacă „fluctuațiile", fondul obiectiv de stocasticitate al proceselor naturale, supus legilor probabilistice, dar depășind legea numerelor mari în jurul bifurcațiilor.

Descrierea dinamică nu poate fi un caz particular al descrierii termodinamice căci diferă prin factori ireconciliabili: prima este reversibilă, iar cea de-a doua ireversibilă; prima conduce la traiectorii fataliste, a doua lasă loc pentru decizie, pentru alegere; prima nu lasă loc pentru

autoorganizare, a doua permite descrierea coerenței și complexității sistemelor chimice și a celor cu viață.

În epoca noastră cînd, ici și colo, răbufnesc reacții antiștiințifice, cu tendința de a reînvia în numele științei un misticism desuet, cartea lui Prigogine și Stengers oferă, cu modestia specifică oamenilor de știință, un evantai de idei care ne relevă rolul științei în raportul dintre om și natură, rolul ei pozitiv în dezvăluirea armonioasei situații a omului în interiorul naturii, imposibilitatea ruperii omului de natură sau a transformării acestuia într-un observator extern naturii.

Asistăm la o detronare a omului din poziția artificială pe care i-o oferea „dinamica", aceea de observator imparțial și atotputernic, care poate manipula după dorință sistemele din univers, cu condiția să respecte legile mecanicii.

O detronare a mitului exteriorității omului față de natură duce la „o nouă alianță între om și natură". Omul cunoaște natura din interiorul ei, ca parte a ei, ca element rezultat dintr-o evoluție a unui univers care vrea să se cunoască pe sine însuși, un univers ale cărui legi fundamentale sînt ireversibile, un univers caracterizat printr-un timp ce se scurge obiectiv, într-un singur sens pentru sistemele cu un anumit grad de complexitate.

S-ar putea ca, raportate la diferite sisteme filozofice unilaterale, ideile avansate de Prigogine și Stengers să fie criticabile, dar nu trebuie să uităm că autorii sînt oameni de știință și, ca atare, supuși acelei geniale remarci făcute de A. Einstein:

„Din această cauză, el va apărea în ochii unui filozof cu o gîndire consecventă drept un oportunist care sare de la o extremă la cealaltă. Ca un om care caută să descrie universul independent de actul cunoașterii, el va apărea drept un *realist*. Ca individ ce consideră conceptele și teoriile drept creații libere ale gîndirii omenești, el apare drept un *idealist*. Ca un om ce consideră că atît conceptele cît și teoriile sale sînt fundamentate numai în măsura în care ele permit o interpretare

logică a relațiilor dintre percepțiile sale senzoriale, el este un *pozitivist*. El poate să pară la fel de bine atît un *platonician*, cît și un *pitagoreic*, întrucît consideră simplitatea logică drept un procedeu absolut și totodată eficace al cercetărilor sale".

Totuși, nu putem trece cu vederea peste faptul că autorii descoperă în dialectică o nouă abordare a problemei devenirii și complexității. Ei se opresc, însă, la nivelul hegelian: „... am vrea să citățm un eminent exemplu de gîndire filozofică în căutarea unei coerențe noi, împotriva reducționismului științific: filozofia hegeliană care integrează natura ordonată în nivele de complexitate crescîndă, în tabloul devenirii mondiale a spiritului. Domnia naturii se încheie odată cu spiritul devenit conștient de sine — omul".

Cartea „Noua alianță" a lui I. Prigogine și I. Stengers nu rezolvă definitiv, axiomatic, problemele ridicate și ne lasă senzația că nici nu preconizează astfel de soluții, care ar pune în umbră tocmai efectul fluctuațiilor de gîndire în deschiderea de drumuri noi. Citirea acestei cărți se face cu plăcere, datorită stilului colorat, dar și cu folos, datorită ideilor profunde.

Prin publicarea acestei cărți în limba română, colecția „Idei contemporane" răspunde, odată în plus, acelui comandament major al dezvoltării culturii socialiste exprimat în mod pregnant de tovarășul **Nicolae Ceaușescu**, secretar general al Partidului Comunist Român, cu prilejul sărbătoririi centenarului Academiei R.S.R.: „Cercetarea, creația originală — condiție importantă a progresului neîntrerupt al societății noastre — nu se pot dezvolta decît în strînsă legătură cu evoluția științei și culturii internaționale. În epoca noastră a devenit o necesitate obiectivă desfășurarea unui larg schimb de experiență și opinii între creatorii din toate țările lumii, cunoașterea realizărilor valoroase ale celorlalte popoare, manifestare activă a fiecărei națiuni în slujba progresului general al științei și culturii contemporane".

IONEL I. PURICA

Introducere

1

Nu este exagerat dacă afirmăm că una din cele mai importante date ale istoriei omenirii a fost ziua de 28 aprilie 1686, cînd Newton a prezentat Societăţii Regale din Londra lucrarea sa „Principia". Aceasta conţinea legile fundamentale ale mişcării şi formularea clară a unora din conceptele fundamentale pe care noi le folosim şi azi, cum sînt: masa, acceleraţia, inerţia. Efectul cel mai mare l-a avut probabil cartea a III-a a volumului „Sistemul lumii", care conţinea legea universală a gravitaţiei. Contemporanii lui Newton au înţeles imediat importanţa remarcabilă a acestei lucrări. Gravitaţia a devenit un subiect de conversaţie atît la Londra cît şi la Paris.

Arta şi literatura sînt universale. Nu se poate face o alegere între un peisaj chinezesc şi unul impresionist, nici între epopeile indiene şi cele ale lui Homer; dar nu putem pune la îndoială faptul că ştiinţa, în sensul ei modern, este un produs al lumii dezvoltate. Multă vreme pretenţia sa la universalitate s-a contopit cu aceea a validităţii exclusive. Întrucît ajungem în mod progresiv la o imagine mai echilibrată a naturii şi a implicaţiilor realizărilor ştiinţifice, finalitatea lor, consecinţele lor intelectuale şi practice, acceptarea lor generală le oferă o semnificaţie fără precedent în istoria umanităţii.

Trei secole s-au scurs de cînd Newton a scris *Principia*. Ştiinţa a progresat într-un ritm incredibil pătrunzînd în viaţa noastră, a tuturor. Orizontul nostru ştiinţific cunoaşte dimensiuni cu

adevărat fantastice. La scară microscopică, fizica particulelor elementare studiază procesele care implică dimensiuni fizice de ordinul 10^{-15} cm și perioade de ordinul 10^{-22} secunde. Pe de altă parte, cosmologia ne conduce spre perioade de timp de ordinul 10^{10} ani, așa-numita „vîrstă a universului". Știința și tehnologia sînt mai apropiate acum decît au fost vreodată. Noile biotehnologii, progresul în informatică promit să schimbe în mod radical viața societăților noastre.

În paralel cu această creștere cantitativă există și adînci schimbări calitative ale căror repercusiuni ajung dincolo de știința propriu-zisă și afectează însăși imaginea asupra naturii. Marii fondatori ai științei occidentale au accentuat universalitatea și caracterul etern al legilor naturii. Ei erau aproape pregătiți să formuleze schemele generale care ar coincide cu însuși idealul de raționalitate. Așa cum este exprimat foarte frumos în introducerea lui Berlin din „Against the Current": „Ei au căutat scheme atotcuprinzătoare, modele unificatoare universale, în cadrul cărora tot ce există se poate demonstra ca fiind sistematic — adică logic și cauzal — interconectat, structuri vaste în care nu trebuie să rămînă nici un loc pentru evenimente spontane, neașteptate, unde tot ce apare ar trebui să fie, cel puțin în principiu, pe deplin explicabil în funcție de legile generale imuabile" [1].

Aceasta este o istorie dramatică. Au fost într-adevăr momente cînd acest program ambițios părea a fi foarte aproape de realizare. Astfel de momente se pot asocia cu formularea celebrului model al atomilor al lui Bohr, care reducea materia la sisteme planetare simple, formate din electroni și protoni. Un alt moment de mare suspans a fost acela cînd Einstein a sperat să rezume toate legile fizicii într-o singură „teorie unitară a cîmpului". Aceste vise frumoase s-au spulberat în zilele noastre. Oriunde privim, descoperim evo-

[1] Berlin I., *Against the Current*, Opere alese, editate de Hardy H., The Viking Press, New York, 1980, p. XXVI.

luție, diversificare, instabilități. În mod curios, acest lucru este adevărat la toate nivelurile de bază, în domeniul particulelor elementare, în biologie și în astrofizică cu universul în expansiune și evoluția stelelor, culminînd cu formarea găurilor negre.

Viziunea asupra naturii a suferit o schimbare radicală înspre multiplu, temporal, complex. În mod curios complexitatea neașteptată pe care am descoperit-o în natură nu ne-a condus la o diminuare a progresului științei ci, dimpotrivă, ne-a îndreptat spre producerea de structuri conceptuale noi, care se dovedesc a fi acum tot atît de importante în înțelegerea lumii noastre fizice, ca și însăși lumea în care trăim. Tocmai această nouă situație, care nu are precedent în istoria științei, vrem s-o analizăm în această monografie.

Istoria transformării concepțiilor noastre despre știință și natură poate fi cu greu separată de o alta, aceea a sentimentelor pe care le-a stîrnit știința. Orice teorie trezește întotdeauna speranțe, temeri și așteptări. În știința clasică se pune accent pe legi independente de timp. După cum vom vedea, pentru orice stare particulară dată a unui sistem, aceste legi eterne sînt menite să determine pentru totdeauna viitorul tot așa cum au determinat și trecutul. Căutarea adevărului etern în spatele fenomenelor în schimbare a stîrnit entuziasm. Dar a devenit de asemenea clar că natura descifrată cu succes în acest fel era de fapt sărăcită: prin însuși succesul științei natura s-a dovedit a fi doar un automat, un robot.

Însă îndemnul de a reduce diversitatea naturii la o țesătură de iluzii este deja prezent încă din vremea lui Democrit. Epicur și Lucrețiu spuneau că lumea este formată „doar" din atomi și vid și îndemnau la căutarea a ceea ce se ascunde în spatele evidentului.

Dar ca să nu ai cumva îndoială de vorbele mele,
Pentru că ochii nu pot deslușî elementele prime,

Iată și corpuri pe care nicînd nu le vezi într-un lucru
Însă-i nevoie să spui că desigur se află-n ființă. [2]

Și totuși, se știe că una din forțele motrice din spatele operei atomiștilor greci a fost nu de a înfrînge natura ci de a elibera omul de frică, de frica de orice ființă supranaturală, de o ordine care ar întrece-o pe cea a oamenilor și a naturii. Lucrețiu repeta mereu că nu avem de ce ne teme, lumea fiind compusă din asociațiile mereu schimbătoare ale atomilor în vid. Pentru a ne înfrînge iluziile simțurilor noastre, pentru a cerceta mai amănunțit semnificația realității, trebuie să ne înțelegem propria libertate într-o lume în care orice alt lucru este liber.

Știința modernă a transformat această primă atitudine etică într-un adevăr aparent stabilit; și acest adevăr, reducerea naturii la atomi și vid a dat naștere la ceea ce Lenoble [3] a numit „anxietatea oamenilor moderni". Cum ne putem recunoaște în lumea întîmplătoare a atomilor? Trebuie să definim știința ca ruptura dintre om și natură? „Toate corpurile, cerul, stelele, pămîntul și regatele sale nu sînt egale cu intelectul cel mai puțin dezvoltat, pentru că intelectul știe acest lucru în sinea sa iar aceste corpuri nu știu nimic" [4]. Această idee a lui Pascal exprimă sentimentul de alienare pe care îl găsim de asemenea și la oameni de știință eminenți cum ar fi Monod: „Omul trebuie în sfîrșit să se trezească din visul său milenar pentru a-și descoperi deplina solitudine, înstrăinarea sa radicală. El își dă seama acum că asemenea unui țigan, el trăiește la granița unei lumi înstrăinate. Univers surd la sunetul muzicii sale, tot atît de indiferent la speranțele sale ca și la suferințele sau crimele sale" [5].

---

[2] Lucrețiu, Poemul naturii, Editura Minerva, București, 1981, p. 13. — *Nota trad.*

[3] Lenoble R., *Histoire de l'idée de nature*, Albin Michel, Paris, 1969.

[4] Pascal B., „Pensées", fragmentul 792, în *Oeuvres Complètes*, Brunschwig-Boutroux-Gazier, Paris, 1904—1914.

[5] Monod J., *Chance and Necessity*, Vintage Books, New York, 1972, p. 172—173.

Trebuie să subliniem paradoxul pe care-l avem aici. O realizare strălucită din biologia moleculară, descifrarea codului genetic, se sfîrşeşte, în limbajul lui Monod, cu o notă tragică. Chiar acest progres, ni se spune, ne transformă în ţigani ai universului. Cum să explicăm această situaţie? Nu este oare ştiinţa un mijloc de comunicare, un dialog cu natura?

Am întîlnit deseori în istoria ideilor o distincţie foarte netă între om şi lumea pe care a creat-o pe de o parte şi o lume naturală străină lui pe de alta. În *„Principiile unei ştiinţe noi despre natura comună a naţiunilor"* a lui Vico există un pasaj renumit care descrie acest lucru cu şi mai multă strălucire:

„... în noaptea adîncului întuneric care învăluia antichitatea timpurie, atît de îndepărtată de noi, acolo strălucea permanent eternul şi lumina unui adevăr dincolo de orice îndoială: că lumea societăţii civile a fost creată cu siguranţă de către oameni şi că principiile ei se pot găsi prin urmare în modificările propriului nostru intelect. Oricine reflectează la acest lucru nu poate decît să se minuneze că filozofii şi-au consacrat întreaga lor energie studiului lumii naturii, care, de cînd a fost creată de către Dumnezeu, numai EL ştie; iar faptul că s-ar fi neglijat studiul lumii naţiunilor sau lumii civile, care de cînd oamenii au creat-o, oamenii ar fi putut să ajungă să ştie" [6].

Credem, totuşi, că interesul pentru natură şi interesul pentru societate nu trebuie considerat ca excluzîndu-se unul pe celălalt. De fapt, cercetările de azi ne conduc din ce în ce mai mult dincolo de opoziţia dintre om şi natură, spre o înţelegere mai profundă a multiplelor moduri în care ne integrăm în natură, a interacţiunii viului cu natura care-l înconjoară. Unul din principalele subiecte ale acestei cărţi va fi acela de a demonstra, în ciuda rupturii şi opoziţiei, coeziunea crescîndă a cunoştinţelor noastre despre om şi natură, ambele definite în mod intrinsec multiplu şi istoric.

[6] Vico G., *The New Science*, Bering T.G. and Fisch M. H. transl. New York, 1968, paragraf 331.

Interogarea naturii capătă cele mai diverse forme. Sumerul a descoperit scrierea; preoţii sumerieni au venit cu ideea că viitorul poate fi scris într-un mod ascuns în evenimentele care au loc în jurul nostru. Ei au încercat chiar să sistematizeze această opinie amestecînd elementele magice cu cele raţionale[7]. În acest fel putem spune că ştiinţa occidentală, fondată în secolul al XVII-lea, deschide doar un nou capitol în cadrul dialogului permanent dintre om şi natură.

Alexandre Koyré[8] a numit inovaţia adusă de ştiinţa modernă „experimentare". Ştiinţa modernă se bazează pe descoperirea unei forme noi, specifice, de comunicare cu natura, adică, pe convingerea că natura răspunde într-adevăr interogaţiei experimentale. Cum să definim dialogul experimental? Experimentarea nu înseamnă pur şi simplu observarea corectă a faptelor aşa cum apar ele şi nici simpla căutare de legături empirice între fenomene, ci presupune o interacţiune sistematică între conceptele teoretice şi observaţie. Ne vom întoarce mai tîrziu şi vom studia mai în amănunt această strădanie sistematică care echivalează cu a provoca natura să afirme clar dacă se supune sau nu unei ipoteze preconcepute.

Oamenii de ştiinţă şi-au afirmat în sute de feluri uimirea cînd, venind cu întrebarea potrivită, au descoperit că acum pot vedea cum se îmbină mozaicul. În acest sens, ştiinţa apare ca un joc în doi, în care trebuie să ghicim comportamentul unei realităţi nelegate de credinţele, ambiţiile sau speranţele noastre. Natura nu poate fi forţată să spună doar ce ne place nouă. Investigaţia ştiinţifică nu este un monolog. Tocmai riscul implicat este acela care face ca jocul să fie captivant.

---

[7] Vernant J. P. et alii, *Divination et rationalité*, Paris, Seuil, în special Bottero J., „Symptômes, signes, écritures".

[8] Koyré A., *Galileo Studies*, Hassocks, Sussex, The Harvester Press, 1978.

Dar unicitatea științei occidentale este departe de a fi epuizată de astfel de considerații metodologice. Însuși Karl Popper cînd a discutat descrierea normativă a raționalității științifice, a fost obligat să recunoască că, în ultimă analiză, știința rațională își datorează existența tocmai succesului ei; metoda științifică este aplicabilă doar în virtutea uimitoarelor puncte de acord pe care aceasta le dezvăluie uneori, între ipotezele noastre teoretice și rezultatele experimentale [9]. Știința este un joc riscant, dar se pare că a găsit întrebări la care natura dă răspunsuri consistente.

Acest succes al științei occidentale este un fapt istoric, neprevizibil *a priori*, dar care nu poate fi ignorat odată ce a apărut. Succesul surprinzător al științei moderne a dus, prin urmare, la o transformare ireversibilă a relației noastre cu natura. În acest sens, termenul de „revoluție științifică" se poate folosi în mod justificat. Istoria omenirii a fost marcată și de alte situații speciale, de alte concursuri de împrejurări care au condus la schimbări ireversibile. Un eveniment singular de acest fel este așa-numita „revoluție neolitică". Dar aici, ca și în cazul „alegerilor" care marchează evoluția biologică, putem să înaintăm numai pe ghicite, avînd în același timp marele noroc de a fi martorii episoadelor hotărîtoare din evoluția științei. Revoluția neolitică a durat mii de ani. Revoluția științifică a început doar cu trei secole în urmă. Ea ne oferă un prilej unic de a înțelege amestecul specific și inteligibil de „întîmplare" și „necesitate", reprezentînd o evoluție care a condus la o transformare atît de puternică a vieții omenești și, probabil, inerentă fiecărui aspect al istoriei.

Astfel, știința a inițiat un dialog reușit cu natura. Dar, pe de altă parte, rezultatul acestui dialog a fost descoperirea unei lumi a tăcerii. Aceasta a dezvăluit oamenilor o natură moartă, pasivă, o natură care se comportă ca un automat, care

---

[9] Popper K., *Objective Knowledge*, Oxford, Clarendon Press, 1972.

odată programat continuă să funcționeze mereu, urmînd regulile înscrise în programul său. În acest sens, dialogul cu natura l-a izolat pe om de natură în loc să-l aducă mai paroape de ea. Unul dintre succesele rațiunii umane s-a transformat astfel într-un adevăr trist. Știința urma să rupă vraja oricărui lucru pe care-l atingea.

Știința modernă i-a înspăimîntat atît pe cei care i se opuneau, considerînd-o un pericol extrem de mare, cît și pe unii dintre suporterii ei, care au văzut în această singurătate „descoperită" de știință, prețul pe care trebuia să-l plătim pentru acest nou raționalism.

Starea de tensiune culturală asociată cu știința clasică poate fi considerată cel puțin parțial răspunzătoare pentru introducerea nesigură a acestei științe în societate; ea a condus la o afirmare eroică a implicațiilor aspre ale raționalismului, dar și la o respingere violentă. Vom reveni mai tîrziu la mișcările *anti-știință* de astăzi. Să luăm un exemplu mai recent — mișcarea irațională din Germania anilor „douăzeci", care a constituit baza culturală a mecanicii cuantice [10]. În opoziție cu o știință care s-a identificat cu un ansamblu de concepte cum ar fi cauzalitatea, determinismul, reducționismul și raționalismul, a avut loc o dezvoltare vertiginoasă a unor idei pe care știința clasică le nega și care erau considerate în acea vreme ca întruchiparea unei iraționalități fundamentale a naturii. Viața, destinul, libertatea, spontaneitatea au devenit astfel manifestări ale unei lumi întunecate subterane, de nepătruns pentru rațiune. Fără să pătrundem în contextul său socio-politic specific, căruia îi datorează caracterul său viguros și larga sa răspîndire, această respingere a științei raționale ilustrează riscurile la care se expune

---

[10] Forman P., „Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918—1927, Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment", in *Historical Studies in Physical Sciences*, vol. 3, 1974, p. 1—115.

știința clasică. Prin desconsiderarea a ceea ce, în numele libertății, al destinului și spontaneității, era legat de un ansamblu de experiențe pe care oamenii le credeau semnificative, știința își asumă riscul de a transfera aceste concepte în domeniul iraționalului, în acest fel acordîndu-le o putere fantastică.

Întocmai cum a subliniat Needham, gîndirea occidentală a oscilat întotdeauna între lumea ca un automat și o teologie în care Dumnezeu conduce universul. Needham numește aceasta „schizofrenia caracteristic europeană" [11]. Trebuie într-adevăr să facem această alegere tragică? Trebuie oare să alegem între o știință, care duce la alienare, și unele concepții anti-științifice, metafizice asupra naturii? Considerăm că o asemenea alegere nu mai este necesară, deoarece schimbările pe care le suferă astăzi știința ne conduc spre o situație radical nouă. Recenta evoluție a științei pe care o vom descrie acum ne oferă un prilej unic de a reconsidera problema poziției științei în cadrul culturii în general. Știința modernă își are originea în contextul specific al secolului al XVII-lea în Europa. Ne apropiem acum de sfîrșitul secolului XX, și se pare că știința realizează încă un *mesaj universal*, mesaj ce se ocupă de interacțiunea dintre om și natură, ca și de cea dintre oameni.

3

Care sînt ipotezele științei clasice de care credem că știința de azi s-a eliberat? Acestea se grupează mai ales în jurul convingerii fundamentale că la un anumit nivel *lumea este simplă* și este guvernată de legi universale independente în timp. Acest lucru ne apare azi ca o idealizare greșită. Putem compara această idealizare cu aceea care ar reduce clădirile la conglomerate de cărămizi. Totuși din aceleași cărămizi putem construi

[11] Ronan C. A., *A Shorter Science and Civilization in China*, vol. 1, Cambridge University Press, 1978, p. 170.

o fabrică, un palat sau o catedrală. Doar la nivelul construcției ca întreg o putem recunoaște ca pe un produs al timpului, al unei culturi, al unei societăți, al unui stil. Dar aici apare în plus și în mod evident următoarea problemă: deoarece nu există un creator al naturii, noi trebuie să-i facem „cărămizilor" ei, adică activității microscopice, o descriere care să concorde cu posibilitatea acestui proces de construcție.

Problema pusă de știința clasică este ea însăși o ilustrare a unei dicotomii care străbate istoria gîndirii occidentale. Doar lumea imuabilă a ideilor, pentru a folosi expresia lui Platon, a fost recunoscută în mod tradițional ca fiind „iluminată de soarele inteligibilului". În același sens, numai legile eterne erau considerate că exprimă raționalismul științei. Temporalitatea era disprețuită ca o iluzie. Acest lucru nu mai este adevărat astăzi. Am descoperit că departe de a fi o iluzie, ireversibilitatea joacă un rol esențial în natură și stă la baza majorității proceselor de autoorganizare. Ne aflăm într-o lume riscantă, o lume în care reversibilitatea și determinismul se aplică doar în cazurile simple, la limită, în timp ce ireversibilitatea și nedeterminarea formează regula.

Negarea timpului și complexității constituie punctele cheie ale problemelor culturale născute din inițiativa științifică în definiția ei clasică. Provocarea lor a fost de asemenea decisivă pentru metamorfoza științei pe care vrem s-o descriem. Să luăm un prim exemplu. În minunata sa carte, *The Nature of the Physical World*, Arthur Eddington [12] a introdus o diferențiere între legile primare și cele secundare. „Legile primare" controlează comportamentul particulelor individuale, iar „legile secundare" se aplică la grupuri de atomi sau de molecule. A insista asupra legilor secundare înseamnă a accentua că descrierea comportamentelor elementare nu este suficientă pentru a înțelege un sistem ca întreg. Un caz remarca-

[12] Eddington A., *The Nature of the Physical World*, Ann Arbor Paperback, Michigan Press, 1958, p. 68—80.

bil al legii secundare îl constituie cea de-a doua lege a termodinamicii, legea care a introdus „săgeata timpului" în fizică. Iar Eddington scrie: „Din punctul de vedere al filozofiei științei, concepția asociată entropiei trebuie, cred, să fie considerată ca cea mai mare contribuție la gîndirea științifică a secolului al XIX-lea. Aceasta a însemnat o reacție la punctul de vedere conform căruia știința trebuie să dea atenție acelor lucruri care se descoperă printr-o cercetare microscopică a obiectelor"[13]. Tendința pe care o aprobă Eddington s-a amplificat în mod dramatic în zilele noastre.

Se știe, totuși, că unele dintre cele mai mari succese ale științei moderne se referă la descoperirile la nivel microscopic cum ar fi cele ale moleculelor, atomilor sau particulelor elementare. De exemplu, biologia moleculară a obținut un succes imens prin izolarea moleculelor specifice care joacă un rol esențial în mecanismul vieții. De fapt, acest succes a fost atît de copleșitor încît pentru mulți oameni de știință scopul cercetării s-a identificat cu această „cercetare microscopică a obiectelor", ca să folosim expresia lui Eddington. Formularea celei de-a doua legi a termodinamicii a constituit deja, în secolul al XIX-lea prima provocare la adresa negării fenomenului complex, reducîndu-l la simplitatea unei lumi ascunse; astăzi calea științei se îndreaptă în direcție opusă, interesul nostru se mută de la substanță a relații, la comunicare, la timp.

Această schimbare a punctului de vedere nu rezultă dintr-o anumită decizie arbitrară. În fizică acest lucru ne-a apărut forțat datorită noilor descoperiri pe care nimeni nu le-a putut prevedea. Cine s-ar fi putut aștepta ca majoritatea particulelor elementare să se dovedească a fi ființe efemere în perpetuă transformare? Cine s-ar fi așteptat ca, într-un univers în expansiune, istoria să apară la nivelul lumii ca un întreg?

---

[13] *Op. cit.*, p. 103.

Spre sfîrşitul acestui secol am ajuns să înţelegem mai bine semnificaţia celor două revoluţii care au făurit fizica zilelor noastre, mecanica cuantică şi relativitatea. Ele au debutat ca încercări de a corecta mecanica clasică şi de a încorpora în cadrul ei constantele universale descoperite recent. Astăzi însă situaţia s-a schimbat. Mecanica cuantică ne-a alcătuit cadrul teoretic în care să descriem transformările neîncetate ale particulelor. În mod similar, relativitatea generală a devenit teoria de bază cu ajutorul căreia putem descrie istoria termică a universului nostru în primele sale etape.

Ştiinţa de azi nu mai este ştiinţa „clasică". Speranţa de a aduna toate procesele naturale într-un număr mic de legi „eterne" a fost abandonată. Ştiinţele naturii descriu acum un univers fragmentat care se întinde de la lumea înaintată a energiei particulelor elementare şi a cosmologiei pînă la lumea biologiei unde energiile foarte mici pot avea o importanţă hotărîtoare în formarea structurilor. Această lume nouă este bogată în diferenţe calitative şi surprize potenţiale. Am descoperit că dialogul cu natura nu mai înseamnă supravegherea din exterior, lipsită de vrajă, a unui deşert lunar, ci explorarea activă a unei naturi variate. Pe diferite căi, de la descoperirile recente ale fizicii şi biologiei la transformările demografice rapide ale secolului nostru — a apărut un nou naturalism.

4

Lucrarea noastră se ocupă de această metamorfoză conceptuală a ştiinţei, începînd cu epoca de aur a ştiinţei clasice şi terminînd cu prezentul. Aceasta nu este deci nici o enciclopedie, dar nici o operă de popularizare. Vom spune puţine lucruri sau nimic despre unele aplicaţii teoretice fascinante cum ar fi astrofizica sau ştiinţa particulelor elementare; de relativitate nu ne vom ocupa aproape deloc. Acesta este rezultatul unei alegeri deliberate. Sîntem, aşa cum sînt toţi oamenii de

știință ai acestei generații, fascinați de aceste întrebări și de noul domeniu de cunoștințe care se dezvoltă în jurul lor. Totuși, tema noastră este dialogul omului cu natura. Aici ne întîlnim cu probleme care aparțin lumii noastre, lumii macroscopice, incluzînd-o pe cea a moleculelor, și în special pe cea a biomoleculelor sau atomilor. Totuși, este important să subliniem faptul că evoluția științei are loc pe linii oarecum paralele, la toate nivelurile, în cadrul evoluției particulelor elementare, chimiei, vieții sau cosmologiei. La fiecare dimensiune autoorganizarea, complexitatea și timpul joacă un rol nou, neașteptat.

Scopul nostru este, prin urmare, acela de a cerceta semnificația celor trei secole de progres științific dintr-un punct de vedere clar. Există, în mod evident, un element subiectiv în modul în care am selecționat materialul. Concepția centrală a cărții o formează problema timpului și a relației lui cu complexitatea. Acesta este într-adevăr miezul cercetării pe care unul dintre noi a urmărit-o întreaga lui viață. Cînd a luat pentru prima oară contact cu fizica și cu chimia la Universitatea din Bruxelles el a fost foarte uimit să constate că știința spune atît de puțin despre timp, deoarece educația sa anterioară s-a axat în principal pe istorie și arheologie. Această surpriză ar fi putut să-l îndrepte spre două atitudini, pe care le găsim exemplificate în trecut: una ar fi însemnat să renunțe la problemă, de vreme ce știința clasică părea să nu aibă loc și pentru timp, și cea opusă acesteia — să caute un mod de a înțelege natura în care timpul să joace un rol esențial. Aceasta este calea pe care a ales-o Bergson și Whitehead, ca să menționăm doar doi filozofi. Prima poziție ar fi ceea ce s-a numit deseori calea „pozitivistă", iar a doua cea „metafizică".

A existat, totuși, și o a treia cale, care urma să cerceteze dacă simplitatea tipului de evoluție temporală considerată în mod tradițional în fizică și chimie nu se datora faptului că s-a dat în prin-

cipal atenție unor situații foarte simplificate — grămezile analoge de cărămizi în contrast cu cărămizile catedralelor la care ne-am referit deja.

Cartea noastră se împarte în trei părți. Prima parte se ocupă de triumful științei clasice și de consecințele culturale ale acestui triumf. Vom vedea cum știința a fost salutată cu entuziasm atît pentru rezultatele pe care le-a obținut, cît și datorită promisiunii evoluțiilor viitoare; vom vedea apoi cum panica, neliniștea și ostilitatea au luat locul glorificării științei ca însuși simbolul progresului uman. Vom descrie, de asemenea, polarizarea culturală care a apărut ca rezultat al existenței științei clasice și al succesului ei uimitor. Urmează oare să fie acceptat acest succes așa cum este, poate doar limitîndu-i implicațiile, sau trebuie să respingem însăși metoda științifică ca fiind parțială sau iluzorie? Amîndouă căile au dus la același rezultat — ciocnirea dintre ceea ce deseori numim „cele două culturi", umanistică și științifică.

Aceste întrebări au jucat un rol fundamental în întreaga gîndire occidentală încă de la formularea științei clasice. Revenim din nou la aceeași problemă: „Cum să alegem?" Isaiah Berlin a văzut pe drept în această întrebare însuși începutul rupturii dintre știință și umanistică:

„Specificul și unicul, în opoziție cu repetitivul și universalul, concretul cu abstractul, mișcarea perpetuă cu repausul, interiorul cu exteriorul, calitatea cu cantitatea, cultura cu principiile eterne, strădania minții și autotransformarea ca o condiție permanentă a omului cu posibilitatea (și dorința) de pace, ordine, armonie finală și satisfacerea tuturor dorințelor umane raționale — acestea sînt cîteva dintre aspectele contrastului"[14].

Am dedicat o mare parte a spațiului mecanicii clasice. Într-adevăr, din punctul nostru de vedere, acesta este punctul cel mai favorabil de unde putem contempla transformarea de azi a

---

[14] Berlin I., *op. cit.*, p. 109.

științei. Dinamica clasică exprimă într-un mod deosebit de clar și de evident punctul de vedere static asupra naturii. Timpul se reduce la un parametru, iar viitorul și trecutul sînt echivalente. Este adevărat că teoria cuantelor a ridicat în prezent multe probleme noi neacoperite de dinamica clasică. Aceasta reține totuși un număr de poziții conceptuale ale dinamicii clasice, în special în ceea ce privește timpul și devenirea.

Chiar la începutul secolului al XIX-lea, mai exact atunci cînd știința clasică triumfa, cînd programul newtonian domina știința franceză și aceasta domina Europa, a ieșit la iveală prima amenințare a construcției newtoniene. În partea a doua a studiului nostru vom urmări dezvoltarea rivalului științei newtoniene a gravitației, adică știința despre căldură, începînd cu prima provocare lansată cînd Fourier a formulat legea ce guverna propagarea căldurii. A fost, de fapt, prima descriere cantitativă a unui lucru de neconceput în dinamică, un proces ireversibil.

Cei doi descendenți ai științei căldurii, știința transformării energiei și știința motoarelor termice, au dat naștere la prima știință „ne-clasică" — termodinamica. Contribuția cea mai originală a termodinamicii constă în renumita lege a doua, care introduce în fizică săgeata timpului. Această introducere a constituit doar o parte a unei mișcări intelectuale mai largi. Secolul al XIX-lea a fost într-adevăr secolul evoluției: studiul biologiei, geologiei, sociologiei au subliniat procesele de devenire, de creștere a complexității. Termodinamica se bazează în mod precis pe distincția a două tipuri de procese: procese reversibile, care sînt independente de direcția timpului, și procese ireversibile care depind de direcția timpului. Un exemplu de proces ireversibil este propagarea căldurii, studiată de Fourier. Tocmai pentru a face distincția dintre aceste două tipuri de procese s-a introdus conceptul entropiei, o mărime care ar crește numai datorită proceselor ireversibile.

În secolul a XIX-lea, se lua în considerare doar starea finală a evoluției termodinamice. Aceasta constă în termodinamica de echilibru. Procesele ireversibile erau considerate ca fiind o anomalie, un subiect ce nu merită studiat. Această situație s-a schimbat în întregime în ziua de azi. Știm acum că departe-de-echilibru pot apărea spontan noi tipuri de structuri. Departe-de-echilibru putem avea transformări de la starea de dezordine, de haos, la starea de ordine. Pot apărea stări dinamice noi ale materiei, ceea ce reflectă interacțiunea unui sistem dat cu mediul său. Am numit aceste structuri noi *structuri disipative* pentru a accentua rolul proceselor disipative în formarea lor, în mod paradoxal în contrast cu imaginea peiorativă tradițională a acestor procese.

Descriem în această carte unele dintre noile metode care s-au dezvoltat în ultimii ani legat de apariția și evoluția structurilor disipative. Găsim aici cuvintele cheie care străbat această carte ca niște laitmotive: nelinearitate, instabilitate, fluctuație. Ele încep să pătrundă în imaginea noastră asupra naturii chiar dincolo de domeniile fizicii și chimiei.

L-am citat pe Isaiah Berlin cînd am discutat despre opoziția dintre știință și umanistică. El a pus în opoziție specificul și unicul cu repetitivul și universalul. Trăsătura remarcabilă constă în faptul că, atunci cînd ne îndepărtăm de condițiile de echilibru ajungînd în condiții departe-de-echilibru, ne îndepărtăm de repetitiv și universal, și ne îndreptăm spre specific și unic. Într-adevăr, legile echilibrului sînt universale. În apropiere de starea de echilibru materia se comportă într-un mod „repetitiv". Pe de altă parte, în starea departe-de-echilibru apare o varietate de mecanisme care corespunde posibilității de apariție a diferite tipuri de structuri disipative. De exemplu, în starea departe-de-echilibru, putem să fim martorii apariției ceasurilor chimice, reacțiilor

chimice care se comportă coerent, ritmic. Putem avea de asemenea procese de autoorganizare ce ne conduc la structuri neomogene.

Am vrea să subliniem caracterul neașteptat al acestui comportament. Fiecare dintre noi are o oarecare imagine intuitivă despre felul în care se desfășoară o reacție chimică; ne imaginăm moleculele plutind în spațiu, ciocnindu-se și reapărînd în forme noi. Sîntem martorii unui comportament haotic similar cu ceea ce descriau atomiștii cînd vorbeau despre praful ce plutește în aer. Numai că într-un ceas chimic comportamentul este destul de diferit. Simplificînd mult, putem spune că într-un ceas chimic toate moleculele își schimbă identitatea chimică *simultan*, la intervale de timp regulate. Dacă moleculele ar putea fi imaginate ca fiind albastre sau roșii, am vedea schimbarea culorii lor urmărind ritmul reacției ceasului chimic

O astfel de situație, în mod evident, nu mai poate fi descrisă în funcție de comportamentul haotic. A apărut un nou tip de ordine. Putem vorbi de o nouă coerență, de un mecanism de „comunicare" între molecule. Dar acest tip de comunicare poate lua naștere doar în condiții departe-de-echilibru. Este foarte interesant faptul că acest tip de comunicare pare a fi o regulă în lumea biologiei. Ea poate sta la însăși baza definiției unui sistem biologic.

În plus, tipul de structură disipativă depinde în mod critic de condițiile în care se formează. Cîmpurile externe, cum ar fi cîmpul gravitațional pe pămînt, ca și cîmpul magnetic, pot juca un rol esențial în mecanismul de selecție al autoorganizării.

Începem să vedem cum, plecînd de la chimie, putem construi structuri complexe, forme complexe, dintre care unele ar fi putut fi precursorii vieții. Ceea ce pare a fi sigur este faptul că aceste fenomene departe-de-echilibru ilustrează o proprietate esențială și neașteptată a materiei: fizica poate de aici înainte descrie structurile ca fiind

adaptate la condiţiile exterioare; întîlnim în sisteme chimice destul de simple un fel de mecanism de adaptare prebiologică. Şi ca să folosim un limbaj antropomorfic, la echilibru materia este „oarbă"; în condiţii departe-de-echilibru, materia începe să fie capabilă să perceapă, adică să „ţină cont" în modul ei de funcţionare de diferenţele lumii exterioare (cum sînt cîmpurile gravitaţionale sau electrice slabe).

Problema originii vieţii rămîne, bineînţeles, o problemă dificilă şi nu credem că se are în vedere o soluţie simplă. Totuşi, în această perspectivă viaţa apare mult mai puţin ca opunîndu-se legilor „normale", ale fizicii, ca luptîndu-se împotriva lor pentru a evita destinul ei normal, ceea ce ar însemna distrugerea ei. Dimpotrivă, viaţa pare să exprime într-un fel chiar condiţiile în care este inclusă biosfera noastră, luînd în considerare toate nelinearităţile reacţiilor chimice şi condiţiile departe-de-echilibru impuse biosferei de radiaţia solară.

Vom dedica un spaţiu discutării conceptelor care ne permit să descriem formarea structurilor disipative, cum este teoria bifurcaţiilor. Este cu totul remarcabil faptul că aproape de bifurcaţii sistemele prezintă un mare număr de fluctuaţii. Sistemul pare să „ezite" între diferite direcţii posibile ale evoluţiei, iar renumita lege a numerelor mari, în sensul ei obişnuit, nu mai este valabilă. O mică fluctuaţie poate da naştere la o nouă evoluţie care să schimbe drastic întregul comportament al sistemului macroscopic. Analogia cu problemele sociale, chiar cu istoria, este inevitabilă. Fără să opunem „întîmplarea" şi „necesitatea", începem să vedem cum ambele aspecte sînt esenţiale în descrierea sistemelor nelineare departe-de-echilibru.

Primele două părţi ale acestei cărţi se ocupă de două imagini contradictorii ale universului fizic: imaginea statică a dinamicii clasice şi imaginea evoluţionistă asociată cu entropia. O confruntare între aceste două imagini a devenit ine-

vitabilă. Multă vreme această confruntare a fost amînată, deoarece se considera descrierea evoluționistă ca fiind o iluzie, o aproximație; omul ar fi acela care ar introduce timpul într-un univers atemporal. Însă nu se poate accepta o astfel de soluție în care ireversibilitatea este redusă la o iluzie sau la o aproximație atîta timp cît știm astăzi că ireversibilitatea poate fi o sursă de ordine, de coerență, de organizare.

Două științe pentru un singur cuvînt, o confruntare din care nu se poate evada, formează subiectul părții a treia a cărții. La început descriem încercările clasice de a aproxima problema ireversibilității în cadrul mecanicii clasice și mai tîrziu a celei cuantice. S-a dus o muncă de pionierat în această direcție mai ales de către Boltzmann și Gibbs. Totuși, se poate afirma că problema a rămas în mare parte nerezolvată. După cum își amintește Karl Popper, aceasta a fost o poveste dramatică: la început, Boltzmann a crezut că a dat o formulare obiectivă noului concept al timpului implicat în cea de-a doua lege. Dar în urma controversei sale cu Zermelo și cu alții a trebuit să retracteze:

„În lumina istoriei, sau în întunericul istoriei, Boltzmann a fost înfrînt, potrivit tuturor normelor acceptate, deși toată lumea acceptă faptul că a fost un fizician remarcabil. Și aceasta pentru că el nu a reușit să clarifice statutul teoremei sale H; n-a explicat nici creșterea entropiei ... Acestea au fost dificultățile datorită cărora Boltzmann și-a pierdut încrederea în sine și în realitatea atomilor: el a sugerat că ipoteza corpusculară ar putea fi probabil doar un procedeu euristic“ [15].

Opera lui Boltzmann și a lui Gibbs aparține celei de-a doua jumătăți a secolului al XIX-lea și începutului secolului al XX-lea. Putem discuta astăzi problema ireversibilității dintr-un punct de vedere alternativ fundamental. Putem beneficia

---

[15] Popper K., Unended Quest, La Salle, Illinois, Open Court Publishing Comp., 1976, p. 161—162.

de renașterea dinamicii clasice în timpul acestui secol și de revoluția conceptuală introdusă de mecanica cuantică. Încep să apară mecanisme precise microscopice, ale ireversibilității, care aruncă o lumină nouă chiar asupra bazelor fizicii clasice și cuantice. Ceea ce vrem să arătăm este faptul că ireversibilitatea marchează limitele conceptelor de bază ale fizicii clasice și cuantice, ca de exemplu traiectoriile sau funcțiile de undă. Aceasta nu înseamnă că legile fundamentale ale fizicii clasice și cuantice devin false, dar ele reprezintă în unele cazuri o supraidealizare inaccesibilă oricărui experiment teoretic imaginabil. Acum vedem mai bine cum pătrunde timpul în descrierea lumii fizice. Într-adevăr, una dintre descoperirile remarcabile care au apărut în urma renașterii mecanicii clasice în acest secol a fost aceea datorită căreia putem prevedea, în acest cadru conceptual, „întîmplarea", „haosul" chiar la nivelul traiectoriilor. Ca urmare vom pune deci întrebări calitativ noi.

Începem să fim capabili să facem o legătură între imaginea statică a naturii și cea dinamică, legătură între a fi și a deveni. Aceasta implică însă o revizuire drastică a unora din conceptele de bază cum ar fi timpul. Este interesant că problema timpului străbate tot acest secol: unul dintre rezultatele cele mai neașteptate ale teoriei relativității a lui Einstein din 1905 a fost introducerea unui timp local asociat cu fiecare observator. Totuși, acest timp local a rămas un timp reversibil. Problema lui Einstein, atît în teoriile speciale cît și în cele generale privind relativitatea, a fost în principal aceea a „comunicării" dintre observatori, felul în care aceștia puteau compara intervalele de timp. Dar noi trebuie să investigăm timpul și în cadrul altor contexte conceptuale. Unul dintre ele își concentrează atenția asupra formulării explicite a ireversibilității ca o proprietate a sistemelor fizice. Acest lucru a fost realizat de către termodinamica clasică, în funcție de entropie, iar acum trebuie să adu-

cem dovezi noi, să investigăm aceste probleme la nivel microscopic. După cum vom vedea realizăm aceasta prin introducerea unui timp intern care este raportat îndeaproape la istoria internă a sistemului. Acest timp intern îl distinge într-un mod clar pe primul de ultimul. Aici putem observa cum se întîlnesc conceptele de întîmplare, complexitate și ireversibilitate. Pentru un sistem simplu cum e pendulul ideal, nu se poate introduce timpul intern, timpul pendulului va rămîne întotdeauna un parametru care nu distinge trecutul de viitor.

S-a afirmat adesea că știința spațializează timpul. Știința clasică descrie într-adevăr mișcarea în funcție de translația dintr-un punct în altul. Dar ne putem da seama acum că poate fi posibil și un alt punct de vedere. Să luăm în considerare un peisaj și evoluția lui: satele se măresc, podurile și drumurile leagă diferite regiuni și le transformă. Spațiul capătă astfel o dimensiune temporală: citînd cuvintele geografului B. Berry, sîntem conduși spre studiul „cronometrării spațiului". Această noțiune de timp relațional este cea care corespunde schimbărilor în structura internă a sistemului, această legătură nouă între timp și spațiu va fi aceea care ne va ajuta să dăm un sens „săgeții timpului".

Vom vedea că săgeata timpului exprimă o proprietate obiectivă a materiei, existența unei „polarizări" intrinsece. În trecut, li s-a propus opiniilor contradictorii să se ocupe de legea entropiei. Unora li s-a părut că aceasta ar fi o afirmație *incompatibilă* cu dinamica, fie ea clasică sau cuantică. Va trebui prin urmare fie să modificăm dinamica (ceea ce pare a fi puțin probabil deoarece această știință a fost confirmată de foarte multe verificări numerice precise) sau să considerăm cea de-a doua lege ca o aproximație pe care o introducem în descrierea unei lumi reversibile adevărate. Dar este dificil să aperi această atitudine subiectivistă într-un moment în care ne apare din ce în ce mai clar importanța crucială a pro-

prietăților de non-echilibru. Dimpotrivă, Boltzmann dorea să *deducă* cea de-a doua lege din dinamică. Numai că dinamica fiind simetrică în funcție de schimbul dintre trecut și viitor, acestu lucru este imposibil. Există însă o a treia modalitate care credem că este cea corectă. Vom demonstra că legea a doua corespunde unei condiții suplimentare, unei restricții asupra stărilor posibile, compatibile cu dinamica, dar fără a fi deduse din ea.

Din acest punct de vedere legea a doua aduce la nivel macroscopic un element microscopic de bază, o structură intrinsecă a lumii microscopice. Ceea ce mi se pare remarcabil este faptul că atît la nivel macroscopic cît și la nivel microscopic, ordinea, structura, este un produs al întîmplării. La nivel macroscopic ea provine din haosul termic în condiții departe-de-echilibru. La nivel microscopic comportamentul haotic al traiectoriilor este acela care permite încorporarea noii coerențe ce corespunde legii a doua.

Am putea spune că fizica noastră a redescoperit realitatea timpului. Dar odată ce s-a stabilit realitatea timpului, principala dificultate în realizarea unei unități mai mari între știință și umanistică a fost eliminată. Timpul, așa cum îl înțelege fizica, nu mai pune în opoziție omul și natura. Nu mai avem de ales între libertatea „practică" și determinismul „teoretic". Fizica nu-l mai descrie pe mîine ca făcînd parte din azi.

Totuși, intenția noastră nu este să punem în lumină achizițiile definitive ale științei, rezultatele ei stabile, bine stabilite. Nici nu vom încerca să ghidăm publicul printr-un edificiu impresionant al unei științe cristalizate, triumfătoare. Ceea ce dorim să facem este să accentuăm creativitatea conceptuală a activității științifice, perspectivele viitoare și noile probleme pe care le ridică. Oricum, știm acum că ne aflăm doar la începutul explorării noastre. Nu vom vedea sfîrșitul incertitudinii sau riscului. Ast-

fel, am ales să prezentăm lucrurile așa cum sînt ele acum, pe deplin conștienți că răspunsurile noastre sînt incomplete.

5

Erwin Schrödinger a scris odată, spre indignarea multor filozofi ai științei: „ ... există o tendință de a uita că întreaga știință este legată de cultura umană în general, și că descoperirile științifice, chiar acelea care la un moment dat apar ca cele mai avansate, mai ezoterice și mai dificil de înțeles, nu au sens în afara contextului lor cultural. O știință teoretică care nu este conștientă că acelea dintre conceptele sale considerate relevante și importante sînt destinate în cele din urmă să fie exprimate în concepte și cuvinte care au un sens pentru comunitatea educată și devin parte integrantă a tabloului general al lumii — o știință teoretică, spuneam, unde acest lucru s-a uitat și unde inițiații vor continua să bolborosească în termeni care sînt cel mai bine înțeleși de un mic grup de parteneri apropiați, va fi în mod necesar separată de restul umanității culturale; pe termen lung va fi condamnată să se atrofieze și să se închisteze oricît de virulent ezoterică ar continua conversația în interiorul grupurilor de experți izolate" [16].

Una dintre temele esențiale ale acestei cărți este aceea a unei interacțiuni puternice între subiectele proprii culturii ca întreg și dezvoltările conceptuale din știință în sînul acelei culturi. Chiar în inima științei găsim probleme cum ar fi timpul, devenirea, ireversibilitatea, la care fiecare generație de filozofi ca și de oameni de știință au încercat să dea un nou răspuns. Astăzi, în timp

---

[16] Schrödinger E., „Are there Quantum Jumps?" in *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. III, 1952, p. 109—110; acest text a fost citat cu indignare de P.W. Brigdmann în contribuția sa *Determinism and Freedom in the Age of Modern Science*, ed. Hook S., New York, University Press, 1958.

ce istoria noastră economică, demografică și politică a atins o treaptă fără precedent, întrebările și problemele noi impun oamenilor de știință și filozofilor începerea unor noi dialoguri, căutarea unui înțeles nou.

Putem oare defini progresul științei în funcție de ruptură, de separare sau negare, ca o deplasare de la experiența concretă către o abstracție care este din ce în ce mai greu de înțeles? Credem că acest fel de interpretare este o reflectare, la nivel epistemologic, a situației istorice în care se găsea știința, o consecință a incapacității ei teoretice de a descrie arii largi ale experienței determinate de relația dintre om și mediul său.

Există, fără îndoială, o dezvoltare abstractă a teoriilor științifice. Totuși, inovațiile conceptuale care au fost hotărîtoare pentru dezvoltarea științei nu sînt neapărat abstracte. Ele își au originea deseori în introducerea cu succes în știință a unor noi dimensiuni ale realității, de exemplu, introducerea conceptului de ireversibilitate sau acela de cuantificare. În ambele cazuri (și această observație se poate generaliza), inovația furnizează o demonstrație excelentă a influenței exercitate de contextul cultural, și chiar de cel „ideologic", și a deschiderii științei față de mediul în care s-a dezvoltat.

A afirma această receptivitate înseamnă a fi împotriva altei concepții tradiționale despre știință, a ideii că aceasta se dezvoltă eliberîndu-se de formele tradiționale ale înțelegerii naturii, că se purifică ea însăși de ceea ce se consideră a fi prejudecăți care se nasc din bunul simț al minții comode pentru a le pune în opoziție mai pregnant cu „ascetismul" rațiunii. Acest lucru duce la concluzia că știința ar trebui să fie ocupația comunităților de oameni ce trăiesc separat și nu sînt implicați în probleme lumești. Comunitatea științifică ideală ar trebui să fie prin urmare protejată de presiunile, nevoile și cerințele societății. Progresul științific ar trebui să fie esențialmente un proces independent căci orice influență „exterioară", cum ar fi participarea omului de știință la alte

activităţi economice, sociale sau culturale, îl deranjează sau îl întîrzie pur şi simplu.

Acest ideal de abstracţie, de retragere a omului de ştiinţă, îşi găseşte un aliat într-un alt ideal, în afirmarea a ceea ce ar trebui să fie vocaţia unui „adevărat" om de ştiinţă, adică, dorinţa sa de a scăpa de vicisitudinile lumeşti. Einstein descrie tipul de om de ştiinţă care s-ar bucura de favoarea „îngerului Domnului", dacă acestuia din urmă i s-ar da sarcina să alunge din „Templul Ştiinţei" pe toţi aceia care sînt „nedemni" — nespecificîndu-se în ce sens. Ei sînt de cele mai multe ori

„creaturi destul de ciudate, necomunicative, singuratice, care în ciuda acestor trăsături comune seamănă unii cu alţii mai puţin decît oastea izgonită.

Ce i-a condus pe aceştia spre Templu? ... unul dintre cele mai puternice motive care i-a îndreptat pe oameni spre artă şi ştiinţă este dorinţa de a evada din existenţa de zi cu zi, cu asprimea ei dureroasă, şi nefericita ei tristeţe, de a scăpa de cătuşele propriilor noastre dorinţe mereu schimbătoare. Cei mai sensibili sînt îndemnaţi să scape de existenţa personală şi să se îndrepte spre lumea observaţiei *(Schauen)* şi înţelegerii obiective. Acest motiv se poate compara cu dorinţa care îl împinge irezistibil pe orăşan către regiunile liniştite ale munţilor înalţi unde privirea rătăceşte liberă prin aerul pur, liniştit şi unde urmăreşte contururile calme care par a fi create pentru eternitate.

Dar odată cu acest motiv negativ apare şi unul pozitiv. Omul încearcă să-şi formeze, într-o manieră adecvată lui, o imagine simplificată şi clară despre lume (Bild der Welt) şi astfel să surmonteze lumea experienţei, străduindu-se s-o înlocuiască într-o anumită măsură prin această imagine" [17].

---

[17] Einstein A., „Prinzipien der Forschung, Rede zur 60. Geburtstag von Max Planck" (1918) în *Mein Weltbild*, Ullstein Verlag 1977, p. 107—110, tradus în *Ideas and Opinions*, Crown Pub. Comp. New York, 1954, p. 224—227.

Incompatibilitatea simțită atît de acut de Einstein, dintre fumusețea ascetică căutată de știință și turbionul meschin al experiențelor mondene poate fi dublată de o altă incompatibilitate, de această dată fățiș maniheană, între știință și societate și, mai precis, între creativitatea umană liberă și puterea politică. În acest caz, cercetarea ar trebui să aibă loc nu într-o comunitate izolată sau într-un templu, ci într-o fortăreață. Sau într-un azil de nebuni, așa cum și-a imaginat Dürrenmatt în piesa sa „Fizicienii": trei fizicieni, personajele principale ale acestei piese, discută mijloacele de a face fizica să progreseze, în același timp încercînd să păzească omenirea de consecințele teribile ale puterilor politice care și-au apropriat rezultatele progresului ei. Concluzia la care aceștia ajung constă în faptul că singura posibilitate este aceea deja aleasă de unul dintre ei. Toți decid să continue munca dar, pretinzînd că sînt nebuni, să se ascundă într-un ospiciu. La sfîrșitul piesei se va vedea că ultimul lor refugiu se dovedește a fi o iluzie. Directoarea ospiciului își spionează pacienții, le fură rezultatele și devine stăpîna destinelor lumii.

Piesa lui Dürrenmatt introduce în final o a treia concepție despre activitatea științifică; știința face progrese prin reducerea complexității realității la o simplitate legică ascunsă. Ceea ce încearcă să ascundă fizicianul Moebius în ospiciu este faptul că a reușit să rezolve problema gravitației, că a descoperit teoria unitară a particulelor elementare și, în final, principiul descoperirii universale, sursa puterii absolute. Bineînțelos, Dürrenmatt exagerează pentru a-și susține punctul de vedere, deși în în mod obișnuit se susținea că ceea ce se caută în templul științei nu este altceva decît „formula" Universului. Omul de știință, deja considerat ca un ascet, devine acum un fel de magician, un om deosebit, deținătorul potențial al cheii Universului pentru toate fenomenele fizice și astfel înzestrat cu o cunoaștere atotputernică. Acest lucru ne duce înapoi spre

un subiect care s-a discutat deja: numai într-o lume simplă (și în special în lumea științei clasice, a cărei complexitate este doar aparentă) orice formă a cunoașterii poate furniza o cheie universală.

Astăzi provocarea științei este totală. De aceea ni se pare paradoxal să separăm știința de societate. Dimpotrivă, va trebui să integrăm în societate activitatea științifică. Va trebui să încercăm să realizăm ca legătura dintre știință și societate să fie cît se poate de fluidă. Una din căile de realizare ale acesteia constă în a deschide canale noi de comunicare. Cartea a fost scrisă în acest spirit. Omul revoluționează mediul său natural de această dată la o scară fără precedent. Așa cum spune Serge Moscovici, omul creează o „nouă natură" [17a]. Mai mult ca oricînd, viitorul depinde de noi. Dar pentru a înțelege lumea pe care am înzestrat-o cu generații noi de mașini, de procese materiale și informaționale, avem nevoie de o știință care să nu fie doar un instrument supus intereselor exterioare, dar nuci o tumoare canceroasă în continuă creștere pe o societate de substrat.

Multă vreme, extrapolările pe care și le-a permis știința clasică au fost considerate ca sentințe date de către o metodă rațională, universală iluziilor și ignoranței noastre. În acest context este important de subliniat faptul că sentințele științei clasice nu au reprezentat expresia unei legături inevitabile între metoda științifică și negarea sau contestarea reducționistă. Ele au tălmăcit de fapt atît limitele instrumentelor conceptuale și tehnice cît și specificitatea originii sale culturale, sociale și tehnologice. Credem că știința se va deschide spre universalitate dacă va reuși în final să comunice atît cu probelmele și complicațiile societăților în care este implicată dezvoltarea științifică, cît și cu întrebările care își au originea în alte culturi.

[17a] Moscovici S., *Essai sur l'historie humaine de la nature*, Collection Champs, Paris Flammarion, 1977.

Cu două mii de ani în urmă Chuang Tsu scria: „Vai cum se învîrte (fără încetare) Cerul! Cum rămîne (în mod constant) Pămîntul nemişcat! Sînt oare Soarele şi Luna mulţumite de locurile lor? Există oare cineva care conduce şi îndrumă aceste lucruri? Cine oare le leagă şi le pune în legătură? Cine le cauzează şi le menţine fără dificultate şi efort? Sau există oare vreun mecanism secret în virtutea căruia ele nu pot fi decît ceea ce sînt"? [17b]

Ne îndreptăm către o sinteză nouă, un naturalism nou. Probabil că vom combina în cele din urmă tradiţia occidentală, cu accentul ei asupra experimentării şi formulărilor cantitative, cu o tradiţie ca cea chineză, concentrată către o imagine a unei lumi autoorganizate, spontane. Fiecare perioadă mare a ştiinţei a dus la un model al naturii. Pentru ştiinţa clasică a fost ceasul, pentru secolul al XIX-lea, perioada Revoluţiei industriale, a fost motorul. Care ar putea fi simbolul pentru noi? Probabil că sîntem mai aproape de imaginile folosite de Platon cînd compara natura cu o operă de artă. În loc să definim ştiinţa prin opoziţia dintre om şi natură, vedem ştiinţa mai mult ca o comunicare cu natura.

La începutul acestei introduceri l-am citat pe Monod. Concluzia sa era: „Alianţa străveche s-a distrus; omul ştie acum că este singur în imensitatea incomensurabilă, indiferentă a universului din care el a apărut din întîmplare" [17c]. Probabil că Monod avea dreptate. Vechea alianţă s-a distrus. Rolul nostru nu este acela de a jeli trecutul. El este acela de a crea noi alianţe între om, cunoştinţele sale, visurile sale şi metamorfozele naturii.

[17b] Citat din Ronan, *op. cit.*, p. 87.
[17c] Monod J., *op. cit.*, p. 180.

CARTEA I

ILUZIA UNIVERSALULUI: ȘTIINȚA CLASICĂ

Capitolul I

Proiectul științei moderne

1. Noul Moise

Natura și legile sale în noapte ascunse zăceau;
Domnul spuse să fie Newton!
Și totul de lumină fu cuprins

A. POPE

(Proiect de epitaf pentru Isaac Newton, mort în 1727)

Nu trebuie să ne surprindă tonul emfatic al lui Pope. În ochii Angliei din veacul al XVIII-lea, Newton este „noul Moise" căruia i s-au revelat „tablele legii". Poeți, arhitecți, sculptori și alți artiști concurează la elaborarea proiectelor de monumente dedicate acestuia. O națiune întreagă se reunește pentru a comemora evenimentul: un om a descoperit limbajul vorbit de natură — și căruia aceasta i se supune.

„Constrînsă, spiritului său pătrunzător Natura se supune,
Și bucuros îi dezvăluie tainicele ei căi;
Contra matematicii a se apăra nu poate
Și-n fața raționamentului experimental cedează" [18]

[18] Desaguliers J.T., *The Newtonian System of the World, The Best Model of Government: an Allegorical Poem*, 1728, citat în Fairchild H. N., *Religious Trends in English Poetry*, vol. I, New York, Columbia University Press, 1939, p. 357.

Atît morala cît și politica găsesc în episodul newtonian elemente pentru a-și „fundamenta" argumentația. Astfel, reverendul Desaguliers transpune în „Spiritul Legilor" sensul literal al noii ordini naturale: monarhia constituțională este cel mai bun sistem de guvernămînt prin aceea că Regele, precum Soarele, nu dispune decît de o putere limitată:

„Precum miniștri, atenți la fiecare din privirile sale
Șase lumi îi înconjoară tronul într-un mistic dans.
El curbează mersul divergent al mișcării lor
Și constrînge orbitele lor prin forțe atractive;
Puterile sale, prin legi limitate, le lasă totuși libere;
El conduce, dar nu desființează a lor libertate;" [19].

Newton însuși, chiar dacă nu s-a aventurat în domeniul științelor morale, nu a șovăit de a susține în fizică universalitatea legilor expuse în *Principia*. Natura este „foarte conformă ei însăși", afirmă el în faimoasa problemă 31 din *Optică*, și această declarație viguroasă și eliptică ascunde o cerință hiperbolică: combustia, fermentația, căldura, coeziunea, magnetismul ..., nu există proces natural care să nu fie produs de aceste forțe active, de atracție și repulsie, care reglează mișcarea aștrilor și căderea corpurilor.

Erou național încă înainte de a muri, cu aproape un secol mai tîrziu Newton va deveni, în special sub influența puternicei școli a lui Laplace, simbolul revoluției științifice europene. Astronomii au scrutat cerul, pe care de aici înainte, matematica îl legiferează și prezice. Fapt absolut remarcabil, sistemul newtonian a învins toate obstacolele: mai mult decît atît, el a lăsat poartă deschisă dezvoltărilor matematice care au permis calcularea deviațiilor aparente și chiar, într-un caz devenit celebru, deducerea din aceste deviații, a existenței unui corp ceresc necunoscut pînă atunci. În acest sens se poate spune că „invenția"

[19] Desaguliers J. T., *op. cit.*, p. 358.

unei noi planete, Neptun, consacra puterea profetică a viziunii newtoniene, în timp ce Laplace răspîndea puterea ei sistematică.

În zorii veacului al XIX-lea, numele lui Newton tinde să reunească tot ceea ce, deja dobîndit sau numai sub formă de promisiune, are pentru știință valoare de model. Dar, în mod curios, metodei lui i se dau la acea epocă interpretări divergente.

Unii văd în ea, înainte de toate, ideea unui proiect de experiență matematizabil. Pentru ei, chimia a avut un Newton al ei prin Lavoisier, care a consacrat folosirea sistematică a balanței și a definit o chimie cantitativă ca studiu al bilanțurilor invariante de masă în cursul transformărilor materiei.

Pentru alții, strategia newtoniană consistă în aceea că, în fața unui ansamblu de fenomene se acționează prin izolarea unui fapt central, ireductibil și specific, din care poate fi dedus totul. După exemplul lui Newton, a cărui trăsătură de geniu, potrivit acestei interpretări, a fost tocmai renunțarea de a explica forța de atracție, fiecare disciplină își va alege ca punct de plecare un fapt de acest tip, inexplicat, dar totodată fundamentul oricărei explicații. Din acel moment, unii medici s-au considerat autorizați de către Newton de a îmbrăca într-un limbaj modern discursul vitalist, și de a vorbi de o forță vitală *sui generis*. În chimie, același rol avea să-l joace afinitatea, forța de interacțiune specifică, ireductibilă la legile mișcării maselor.

Cei care se consideră „adevărați newtonieni" își exprimă indignarea și susțin universalitatea puterii explicative a gravitației. Dar este prea tîrziu. De aici înainte, se consideră ca newtonian tot ceea ce are contingență cu un sistem de legi, cu echilibrul, tot ceea ce reactivează miturile armoniei în care se îmbină și pot comunica,

ordinea naturală, ordinea morală, socială și politică. Triumful concepției newtoniene permite de acum reunirea celor mai diferite proiecte. Unii dintre filozofii romantici descoperă în lumea newtoniană un univers fermecat, însuflețit de cele mai variate forțe. Fizicienii cei mai „ortodocși" văd în lumea newtoniană o lume mecanică și matematizabilă reglată de o forță universală. Pentru pozitiviști, reprezintă reușita unui demers.

Restul este literatură — adesea literatură newtoniană: armonia care domnește în societatea aștrilor, antipatiile și afinitățile care determină „viața socială" a produșilor chimici, toate aceste procese își văd efectele lor reproduse, decalate, amplificate în universul astfel întinerit al societății umane [20].

De ce să ne mirăm atunci că această perioadă a fost considerată epoca de aur a științei?

Chiar și astăzi știința newtoniană reprezintă o reușită excepțională. Conceptele dinamice pe care le-a introdus constituie o cucerire definitivă, care nu va putea fi ignorată de nici o transformare a științei. Totuși, după cum bine știm, epoca de aur a științei s-a încheiat, și în același timp s-a spulberat ideea că raționalitatea newtoniană — cu variate interpretări ce se înfruntă de acum în mod deschis — poate fi suficientă pentru a unifica cunoașterea.

Istoria pe care această carte o relatează, este mai întîi aceea a triumfului newtonian: descoperirea continuă, pînă în zilele noastre, a unor domenii mereu noi, ce prelungesc gîndirea newtoniană. În același timp însă, este și istoria dezvăluirii limitelor acestei științe, a dificultăților și a îndoielilor pe care le-a suscitat, precum și a încercă-

---

[20] Gerd Buchdahl subliniază și ilustrează ambiguitatea modelului newtonian, atît în dimensiunea sa empirică *(Optica)* cît și sistematică *(Principia)* în *The Image of Newton and Locke in the Age of Reason*, Newman History and Philosophy of Sciences, Series, Londra, Sheed and Ward, 1961. În ce privește folosirea metaforică a conceptelor newtoniene la începutul secolului al XIX-lea, trimitem la frumoasa carte a lui Judith Schlanger, *Les Métaphores de l'organisme* (Paris, Vrin, 1971), în special p. 36, 45 și 99—108.

rilor de a eluda aceste dificultăţi sau de a căuta o altă ştiinţă. Se poate spune că de aproape o sută cincizeci de ani sîntem în căutarea unei noi concepţii ştiinţifice coerente şi a naturii descrise de ştiinţă. Vom arăta aici în ce fel această concepţie nouă rezultă din dezvoltarea recentă a ştiinţei, constituind în momentul de faţă promisiunea, ba chiar realitatea, unei metamorfoze a ştiinţei.

2. Lumea dezamăgită

„... Dumnezeu să ne păzească de a vedea
cu un singur ochi şi de a dormi
somnul lui Newton!"

WILLIAM BLAKE

(într-o scrisoare către Thomas Butts, 22 noiembrie 1802)

Pentru a ilustra caracterul instabil al sintezei ştiinţifice şi culturale realizată de ştiinţa newtoniană, am ales ideea de a ne referi direct la epoca noastră, de exemplu la acea introducere la colocviul UNESCO consacrat raporturilor dintre ştiinţă şi cultură. „De mai bine de un secol, sectorul activităţii ştiinţifice a cunoscut o asemenea creştere în interiorul spaţiului cultural ambiant, încît pare că se substituie culturii în ansamblul ei. Pentru unii, n-ar fi vorba decît de o iluzie produsă de viteza acestei creşteri, dar nu va trece mult şi liniile de forţă ale acestei culturi vor irumpe din nou pentru a aduce ştiinţa în slujba omului. Pentru alţii, acest recent triumf al ştiinţei îi conferă în sfîrşit dreptul de a domina ansamblul culturii care, de altfel, nici nu şi-ar mai merita titlul decît prin faptul că poate fi difuzată prin intermediul aparatului ştiinţific. În sfîrşit alţii, speriaţi de faptul că atît omul cît şi societăţile ce cad sub dominaţia ştiinţei se expun la diferite manipulări, văd profilîndu-se în aceasta spectrul derutei culturale" [21].

---

[21] *La Science et la diversité des cultures*, UNESCO, Paris, P.U.F. 1974, p. 15–16.

În acest text, știința apare ca un corp străin în interiorul culturii, un corp a cărui creștere canceroasă amenință să distrugă ansamblul vieții culturale; problema, de viață și de moarte, este de a domina știința, de a-i stăpîni dezvoltarea, sau de a te lăsa subjugat, desființat de ea. În cei aproape o sută cincizeci de ani, din sursă de inspirație, știința s-a transformat în amenințare. Și nu numai amenințare pentru viața materială a oamenilor, ci în mod mult mai insidios, amenințare de distrugere a cunoștințelor, a tradițiilor, a celor mai înrădăcinate experiențe din memoria culturală: nu este acuzată doar cutare sau cutare deformare tehnică a unui rezultat științific, ci spiritul științific însuși este pus sub acuzare.

Fie că este vorba de un anumit scepticism global, produs de cultura științifică, sau sînt atacate concluziile concrete ale diverselor teorii științifice, astăzi este răspîndită afirmația: știința dezamăgește lumea; tot ceea ce ea descrie se reduce, fără remediu posibil, la un caz de aplicare a legilor generale, lipsite de interes particular. Ceea ce pentru generații privilegiate fusese izvor de bucurie sau de uimire, se usucă acum. Tot ce atinge știința este răpit de la om.

Este curios să constatăm că acest presupus efect negativ al progresului științific constituie o teză susținută nu numai de mulți dintre cei ce critică știința, dar de asemenea de către cei ce o apără și o slăvesc. Am ales ca tipică în această privință concluzia la care ajunge Jacques Monod în analiza sa asupra consecințelor filozofice ale biologiei moderne: „Omul trebuie în sfîrșit să se trezească din visul său milenar pentru a-și descoperi deplina solitudine, înstrăinarea sa radicală. El își dă seama acum că, asemenea unui țigan, el trăiește la granița unui univers înstrăinat. Univers surd la sunetul muzicii sale, tot atît

de indiferent la speranțele sale ca și la suferințele sau crimele sale" [22].

Apelul fierbinte al lui Monod, care presează „Omul" de a-și asuma destinul său de singurătate și de a renunța la iluziile în care s-au refugiat societățile tradiționale, conduce în mod tipic la identificarea științei occidentale, așa cum s-a dezvoltat de cîteva secole, cu o raționalitate ce depășește toate culturile și toate epocile. Dezvoltarea științifică se deschide spre o adevărată opțiune metafizică, tragică și abstractă; „omul" trebuie să aleagă între tentația liniștitoare dar irațională, de a căuta în natură garanția valorilor umane, manifestarea unei apartenențe esențiale, și fidelitatea față de o raționalitate care îl lasă singur într-o lume mută și stupidă.

O altă temă ce-și îmbină ecourile cu acelea ale dezamăgirii, este tema dominației: lumea dezamăgită este în același timp o lume manevrabilă. Dacă știința concepe lumea ca supusă unei scheme teoretice generale în care variatele ei bogății sînt reduse la triste aplicații ale unor legi generale, chiar prin această poziție ea se erijează într-un instrument de control și de dominație. Străin lumii, omul se situează ca stăpîn al acestei lumi.

Iată aici, tezele, mai mult decît periculoase, ale lui Heidegger. Modelul științific realizează ceea ce se întrezărea încă din zorii elenismului: dorința de putere care ar fi ascunsă în orice raționalitate. Dominația științifică și tehnică care, după Heidegger, se desfășoară astăzi pe scară planetară, dezvăluie violența ascunsă a oricărei cunoașteri pozitive și comunicabile.

Dominație tehnică: Heidegger nu înțelege să respingă cutare sau cutare realizare tehnică în mod deosebit, el pune sub semnul întrebării esența tehnicii înseși, principiul dimensiunii tehnice ce

---

[22] Monod J., *Le Hasard et la nécessité*, p. 187—188. Vezi și Gillipsie C. C., *The Edge of Objectivity* (Princeton University Press, 1970) care scrie o istorie a științelor axată pe progresul obiectivității științifice și pe lupta împotriva diferitelor mișcări antiștiințifice, generate de fiecare dată dintr-o dorință de apartenență și de securitate.

guvernează imixtiunea umană în natură. Nu-l neliniștește faptul că poluarea industrială pune în pericol viața animală din Rin, ci faptul că acesta a ajuns în slujba omului prin intermediul unui calcul matematic: „Centrala electrică a fost amplasată pe curentul Rinului. Ea îl somează să-i livreze presiunea hidraulică, care, la rîndul ei somează turbinele să se rotească... Centrala nu este construită pe apa Rinului asemenea vechiului pod de lemn care de secole leagă un mal de altul. Mult mai precis putem spune că de fapt fluviul a fost zidit în centrală. Ceea ce este rîul acum, adică furnizor de presiune hidraulică, se datorește felului de a fi al centralei electrice" [23].

Dominație științifică: nici o teorie nu-l preocupă în mod deosebit pe Heidegger, ca de altfel nici o problemă tehnică; fiecare teorie constituie un moment din realizarea proiectului global care însoțește și constituie istoria Occidentului. Omul de știință, mergînd pe urmele tehnicianului, este prizonierul unei voințe de putere deghizată în sete de cunoaștere, prin abordarea lucrurilor de către om, el le supune pe acestea la o violență sistematică. În viziunea teoretică care definește știința, Heidegger vede o interpelare a lucrurilor pe care le reduce la simple obiecte subjugate, oferite dominației privirii: „Fizica modernă nu este o fizică experimentală prin faptul că dispune de aparate pentru a interoga natura. Este exact invers; tocmai pentru că fizica — și aceasta chiar ca teorie pură — obligă natura de a se dezvălui ca un complex de forțe ce poate fi calculat și prevăzut, pe care experimentul este destinat să-l interogheze, pentru a afla dacă și în ce mod natura astfel somată răspunde la apel" [24].

Această radicală ostilitate vizează atît activitatea tehnică cît și orice cunoaștere comunicabilă; vechiul pod de pe Rin își găsește rostul nu

---

[23] Heidegger M., „Die Frage nach der Technik", în *Vortrage und Aufsätze*, Neske Verlag 1954, p. 15; trad. franc. „La question de la technique" în *Essais et conférences*, Paris, Gallimard, 1958, p. 21—22.

[24] *Ibid.* p. 21; în trad. franceză p. 29.

ca o mărturie a unei priceperi dovedite, a unei observații laborioase și precise, ci pentru că îngăduie apelor Rinului să curgă. Revelațiile senzaționale făcute de Bergier și Pauwels în *Le Matin des Magiciens* sînt și ele însoțite de un dispreț deschis față de știința oficială, apreciată ca trivială și sufocantă, aceeași trivialitate ca în preocupările cotidiene ale majorității oamenilor. În contrast cu cele de mai sus se anunță și o „altă" realitate: o știință plină de mistere, rezervată inițiaților, reînnodînd legăturile cu practicile ezoterice ale alchimiștilor, taumaturgilor și altor magicieni. „În timp ce milioane de oameni civilizați deschid cărți, merg la cinematograf sau la teatru pentru a privi cum Françoise va fi înduioșată de René, dar, urînd pe amanta tatălui său, va deveni lesbiană dintr-o răzbunare surdă, unii cercetători care intonează mulțimilor o muzică angelică, se întreabă dacă spațiul nu se contractă în jurul unui vehicul" [25].

Scientism triumfător, s-ar putea spune; știința, de aci înainte, este stăpînă pe destinele omenirii, ea conduce lumea spre un viitor necunoscut și de neînchipuit. „Dacă aș putea să reiau viața de la început, este sigur că nu aș alege să fiu scriitor și să-mi duc zilele într-o societate înapoiată în care aventura zace sub paturi ca un cîine. Mi-ar trebui o *aventură-leu*. M-aș dedica fizicii teoretice pentru a trăi în inima fierbinte a romanescului veritabil" [26].

Această „aventură-leu" nu este totuși aceea rezultată din eforturile laborioase și deschise ale comunităților științifice. Știința ce ni se dezvăluie, este rezultată din intuiții neumane ale unor cvasi-mutanți, și nu din discutarea critică și munca experimentală minuțioasă, transmisă mai curînd în taină decît în ziarele și colocviile științifice. La ceea ce Bergier și Pauwels, apoi mai recent

---

[25] Pauwels L. și Bergier J., *Le Matin des magiciens*, Paris, Le Livre de Poche, 1970, p. 45.

[26] Pauwels L. și Bergier J., *op. cit.*, p. 48–49.

Ruyer [27], ne invită să medităm, este că preocupările oamenilor „mijlocii" și cunoștințele axate pe aceste preocupări, aparțin unei lumi depășite, în care noi am fost înșelați. După părerea lor, aventura este în altă parte, în infinitul mare și în infinitul mic. Urmîndu-i pe Bergier și Pauwels, „omul de rînd" poate spera cel mult că într-o zi, anumiți inițiați vor binevoi să studieze problemele triviale ale organizării societăților noastre, pulverizînd prăfuitele teorii ale științelor umane, față de care nu putem nutri decît cel mai profund dispreț. După cum se insinuează, s-ar putea ca acest lucru să se fi întîmplat deja, fără să știm, viitorul nostru să fie de acum determinat de către un mic număr de oameni, aceia care „știu".

Această mistică a unei științe ezoterice, a „unei lumi în care ciclotroanele sînt asemenea catedralelor, în care matematicile sînt ca un cînt gregorian, în care transmutațiile se efectuează nu numai în materie, ci chiar în creier" [28], prevestește o „cruciadă" spre viitor. În contextul actual, această cruciadă este tot atît de periculoasă ca și respingerea științei sau exaltarea legendarelor aurore elene. Epoca noastră este confruntată cu probleme materiale și tehnice cruciale. Știm că gestiunea societăților noastre depinde din ce în ce mai mult de o bună folosire a științei și tehnicii. În aceste condiții nu ar strica puțină luciditate: la oamenii de știință, față de nevoile și exigențele socialmente exprimate; la oamenii obișnuiți, în ce privește posibilitățile lor reale de înțelegere. Evadarea spre mitul unei științe misterioase și atotputernice nu poate decît să contribuie la camuflarea dificultăților reale ale problemelor puse de istorie.

În legătură cu știința există un alt tip de critică a cărei pertinență trebuie s-o recunoaștem. Vom cita aci ca exemplu concluzia lui Koyré la studiul său despre valoarea sintezei newtoni-

---

[27] Ruyer R., *La Gnose de Princeton*, Paris, Fayard, colecția Pluriel, 1977.

[28] Pauwels L. și Bergier J., *op. cit.*p., 56.

ene: „Există totuși ceva de care Newton trebuie făcut responsabil, sau, mai bine zis, nu numai Newton, ci știința modernă în general: este vorba de împărțirea în două a lumii noastre. Am spus că știința modernă răsturnase barierele care separau Cerul și Pămîntul, că ea a unit și unificat Universul. Este adevărat. Dar, am mai spus, ea a realizat acest lucru substituind lumii noastre, cu calități și percepții sensibile, lumea în care trăim, iubim și murim, o altă lume: lumea cantității, a geometriei zeificate, lumea în care, deși există loc pentru orice lucru, nu există loc pentru om. Astfel, lumea științei — lumea reală — s-a îndepărtat și s-a despărțit cu totul de lumea vieții, pe care știința a fost incapabilă s-o explice — chiar și printr-o explicație distrugătoare care ar prezenta-o doar ca o aparență „subiectivă".

„În realitate, aceste două lumi se află zi de zi și din ce în ce mai mult reunite prin praxis. În ce privește însă teoria, ele sînt despărțite printr-o prăpastie.

„În aceasta constă tragedia spiritului modern care „a soluționat enigma Universului", dar pentru a o înlocui cu alta: propria lui enigmă" [29].

Critica lui Koyré deschide o perspectivă nouă. Nu mai sîntem reduși la alternativa între o știință care ar face din om un străin într-o lume dezamăgită și un protest antiștiințific, chiar antiрațional.

În această perspectivă ne situăm noi. Vrem să arătăm că știința noastră nu mai este știința clasică criticată de Koyré, și aceasta nu pentru că noile sale obiecte ar fi stranii, mai aproape de magie decît de gîndirea comună, așa cum gîndesc Bergier și Pauwels, ci pentru că de aici înainte știința este capabilă să înțeleagă și să descrie,

---

[29] Koyré A., *Études newtoniennes*, Paris, Gallimard, 1968, p. 42—43.

cel puţin parţial, procesele complexe care constituie lumea *cea mai familiară*, lumea naturală în care evlouează fiinţele vii şi societăţile lor.

Retrospectiv, putem înţelege mai bine în ce măsură ştiinţa clasică era incapabilă de a înţelege devenirea naturală, astfel încît extrapolările pe care le încerca pornind de la concluziile teoretice, trebuiau negreşit să conducă la negarea, în special a posibilităţii unor evoluţii generatoare de noutate şi complexitate. Vom explora forţa şi slăbiciunea ştiinţei newtoniene, coerenţa armăturii ei conceptuale ca şi a lacunelor ei. Axul expunerii noastre îl va constitui problema timpului, care constituie punctul faţă de care se evidenţiază cel mai bine dimensiunea negatoare a ştiinţei „newtoniene". Este o cvasi-evidenţă: timpul asociat devenirii biologice sau evoluţiei societăţilor nu este *acelaşi* cu timpul care descrie mişcarea planetelor sau a pendulului ideal. Or, ştiinţa newtoniană se găseşte în imposibilitate de a integra această idee fundamentală. Şi, pe de altă parte, în jurul temelor ireversibilităţii, procesului de organizare şi inovării, s-au dezvoltat teoriile ce ne permit să vorbim astăzi despre o metamorfoză a ştiinţei.

Una din perspectivele cele mai promiţătoare deschise prin această metamorfoză este sfîrşitul rupturii culturale care face din ştiinţă un *corp străin* dîndu-i aparenţa unei fatalităţi ce trebuie asumate, sau a unei ameninţări care trebuie combătută. Dorim să arătăm că ştiinţele matematice ale naturii, în momentul în care descoperă problemele complexităţii şi ale devenirii, devin la fel de capabile să înţeleagă ceva din semnificaţia unor întrebări exprimate prin mituri, religii şi filozofii; capabile de asemenea să măsoare mai bine natura problemelor proprii acelor ştiinţe care au ca obiect omul şi societăţile umane.

Constituirea unei „a treia culturi" (pentru a relua expresia lui Snow, care-i semnala naşterea într-un supliment la lucrarea sa asupra rupturii

culturale din epoca noastră [30]), un proces cultural nou, ar putea de aici înainte să dobîndească o anumită importanță. O a treia cultură: adică un mediu în care s-ar putea angaja indispensabilul dialog între demersul modelării matematice și experiența conceptuală și practică, a tuturor acelor economiști, biologi, sociologi, demografi, medici, care-și propun să descrie societatea omenească în complexitatea ei. Posibilitatea dezvoltării unui asemenea mediu intelectual — iar piedica cea mai mare în calea acestei dezvoltări dispare din momentul în care științele fizice dispun de mijloacele de a recunoaște validitatea problemelor cu care se ocupă specialiștii din alte domenii științifice — condiționează fără nici o îndoială folosirea resurselor noastre conceptuale și tehnice în criza contemporană.

3. Sinteza newtoniană

Cum poate fi explicat entuziasmul contemporanilor lui Newton, convingerea lor că în sfîrșit au fost dezvăluite tainele lumii, adevărul despre natură?

După cum reiese din versurile lui Desaguliers, în ochii contemporanilor triumful newtonian confirmă reușita sintezei originale pe care știința modernă a încercat s-o realizeze între mai multe preocupări, prezente pare-se în toate civilizațiile umane: ea dovedește că natura nu poate să reziste procedurii experimentale de manipulare și de transformare, rod al unei alianțe noi între *teorie* și *practică*.

Știința newtoniană este o știință *practică*: una din sursele ei este în mod foarte vădit știința meșteșugarilor Evului Mediu, știința constructorilor de mașini; cel puțin în principiu, ea însăși oferă mijloacele de a acționa asupra lumii, de a

---

[30] Snow C. P., *The two Cultures and a Second Look*. Cambridge University Press 1964, trad. franc. *Les deux cultures*, Paris, Pauvert, 1968.

prevedea și de a modifica cursul anumitor procese, de a concepe dispozitive proprii pentru folosirea și exploatarea unora din forțele și resursele materiale ale naturii.

În acest sens, știința modernă prelungește efortul milenar al societăților noastre de organizare și de folosire a lumii. Știm destul de puțin despre preistoria acestor eforturi; retrospectiv putem totuși să măsurăm suma cunoștințelor și să apreciem îndemînarea cerută de ceea ce s-a numit revoluția neolitică. Vînător-culegător, omul a învățat să gospodărească unele domenii ale mediului natural și social datorită unor tehnici noi de exploatare a naturii și de structurare a societății.

Trăim încă și astăzi pe baza unor tehnici neolitice — crearea sau selecționarea unor specii vegetale și animale, țesutul, olăritul, prelucrarea metalelor. Multă vreme organizarea noastră socială s-a mulțumit cu aceleași tehnici de scriere, de geometrie și aritmetică care au fost folosite pentru a se organiza acele grupe sociale diferențiate și structurate ierarhic din orașele-state neolitice[31]. Cum să nu recunoaștem continuitatea dintre tehnicile neolotice și tehnicile științifice?

---

[31] În lucrarea sa „Race et histoire" (*Anthropologie structurale* 2, Paris, Plon, 1973), Claude Lévi-Strauss dezbate condițiile în care putem să apropiem revoluția neolitică și revoluția industrială. Modelul introdus de el la acest subiect, în termeni de reacții în lanț amorsate de anumiți catalizatori — procese marcate prin cinetica lor singulară, cu fenomene de praguri și puncte singulare — oferă garanția unei afinități posibile între problematicile de stabilitate și instabilitate pe care le expunem la capitolul III și unele teme a ceea ce s-a numit, cu un termen corect dar restrictiv, abordarea structurală în antropologie. Această posibilitate este obiectul unei dezvoltări stimulante făcute de Gilles Deleuze, într-un articol consacrat structuralismului (în: Chatelet F., *Histoire de la Philosophie*, vol. 8, Paris, Hachette, 1973). Ea face obiectul unor lucrări ale celor care, fără îndoială vor fi numiți mai tîrziu structuraliștii postcomptieni (A. Moles, M. Serres și alți eîțiva, deschiși spre abordările cinetice și statistice).

Trebuie să admitem de asemenea că dezvoltarea acestor tehnici presupune că în timpul perioadei neolitice și în mileniile care au precedat-o, a avut loc o susținută activitate de explorare a resurselor naturale și de cercetare empirică a unor metode de folosire a acestora, ceea ce constituie o mărturie despre existența, nu numai a unor indivizi cu un spirit de observație și inventivitate de aceeași valoare cu a marilor oameni din istoria noastră intelectuală, dar chiar a unor societăți capabile de a stimula, de a accepta, de a conserva și de a perfecționa opera acestor inovatori.

Știința modernă continuă acest efort străvechi, îl amplifică și îi conferă un ritm accelerat. Însă proiectul de folosire a mediului nu epuizează semnificația științei în sensul dat de revoluția newtoniană, nici în sensul dat de *gîndirea sălbatică*.

În orice societate omenească întîlnim competențe și tehnici, precum și un ansamblu de narațiuni ce par să explice sau să interpreteze organizarea lumii și poziția societății umane în sînul naturii. La fel ca și miturile și cosmologiile, știința pare să caute *a înțelege* natura lumii, felul în care lumea este organizată, locul pe care oamenii îl ocupă în natură.

Asupra unui punct decisiv, gîndirea științifică se îndepărtează totuși de interogarea mitologică, pe care o continuă. Ea și-a proclamat supunerea față de procedeele de verificare și discuție critică [32]. Să nu uităm totuși că această declarație de intenții caracterizează orice formă de gîndire critică; știm de asemenea că nici Democrit, nici Aristotel nu aparțin științei moderne,

[32] „În fiecare societate, mesajul mitului exclude dialogul: miturile grupului nu se discută ci, în credința că se pot repeta, ele se transformă" (Claude Lévi-Strauss, *Mytologiques* 4, Paris, Plon 1971, p. 585). Discursul mitic se deosebește, așadar, de dialogurile critice (filozofice sau științifice) dar aceasta este mai mult în funcție de condițiile sale practice de reproducere decît din cauza unei inaptitudini funciare a cutărui sau cutărui transmițător de a gîndi rațional. Putem spune că practica dialogului critic a imprimat discursurilor cosmologice adevărate o accelerare evolutivă spectaculară.

indiferent de aptitudinea lor de a discerne prin verificare și discuție, adevărul de neadevăr. Va trebui, așadar, să distingem cu grijă gîndirea critică în general de particularitatea ce se introduce în lumea noastră sub forma „științei moderne".

Puțin importă că primele speculații ale gînditorilor presocratici s-au desfășurat într-un spațiu asemănător aceluia din mitul de creație hesiodică: polarizarea inițială a cerului și a pămîntului, ceea ce dă naștere la dorința trezită de dragoste; nașterea primei generații de zei, puteri cosmice diferențiate; lupte și dezordini, ciclu de atrocități și de răzbunări, pînă la stabilizarea finală: repartizarea puterilor într-o supunere față de Justiție (*dikè*). Este cert că, în decurs de cîteva generații, presocraticii vor trece în revistă — explorînd și criticînd — cîteva din principalele concepte regăsite de știința noastră și pe care noi încercăm să le articulăm pentru a înțelege relațiile dintre ființa, eternă și imuabilă, și devenire, sau, pentru a înțelege apariția ordinii, în tot ceea ce există, avînd ca punct de plecare un mediu nediferențiat [33].

Din ce cauză ceea ce este omogen este instabil și se diferențiază? Fragile și muritoare, lucrurile conțin oare atîtea nedreptăți, stări de dezechilibru care violează raportul forțelor ce reglează înfruntarea dintre puterile naturale? Sau poate mai curînd, motorul lucrurilor este exterior acestora: acțiuni rivale, de dragoste și luptă, determină oare nașterea, dezvoltarea, declinul și disperarea? Schimbarea este oare iluzorie, sau lupta continuă a contrariilor determină apariția lucrurilor? Schimbările calitative pot fi oare reduse la mișcările în vid ale unor configurații de atomi, sau mai curînd atomii reprezintă o multitudine

[33] În paragrafele ce urmează ne inspirăm din analizele făcute de Vermont J. P., *Mythe et pensée chez les Grecs*, Paris, Maspéro; și Detienne M., Vernant J. P., *Les Ruses de l'intelligence, la Métis des Grecs*, Paris, Flammarion, 1974.

de germeni calitativ diferiţi, din care nici unul nu seamănă cu ceilalţi? Armonia lumii este oare matematică? Cheia naturii o dau numerele?

Ştiinţa numerică a sunetelor construită de pitagoricieni a rămas inclusă pînă astăzi în teoriile noastre acustice. Cît despre teoriile matematice elaborate de greci, în istoria europeană ele reprezintă prima teorie abstractă şi riguroasă ale cărei demonstraţii — fie că ele confirmă adevărul sau eroarea tezelor — pot fi comunicate şi reproduse de orice fiinţă dotată cu raţiune; ele au un grad de certitudine, independent de convingeri, de aşteptări şi de pasiuni.

Ştim prea puţin despre această filozofie din oraşele ionice şi din Grecia Mare, puţine lucruri despre raporturile dintre dezvoltarea ipotezelor teoretice şi înfloritoarea activitate meşteşugărească şi tehnică din aceste oraşe. Se relatează că în urma unei reacţii religioase şi sociale ostile, anumiţi filozofi au fost acuzaţi de ateism, alungaţi sau ucişi. Acest episod de „punere la punct" scoate la iveală importanţa temelor despre mărturie şi risc — despre martiriu — în relatările despre geneza şi amplificarea inovaţiilor conceptuale. A explica succesul ştiinţei moderne va însemna *de asemenea* să explicăm de ce nu au fost persecutaţi global practicienii ştiinţei moderne, de ce abordarea lor teoretică nu a fost reprimată în folosul unei organizări sistematice a cunoştinţelor, potrivit unor categorii conforme cu aşteptările colective.

În epoca lui Platon şi Aristotel, în orice caz, s-au stabilit anumite limite, canalizînd gîndirea în direcţii socialmente acceptabile. S-a fixat în special distincţia dintre *gîndirea teoretică* şi *activitatea tehnică*. Cuvintele pe care le folosim astăzi, maşină, mecanică, inginer, au o istorie etimologică analoagă: nu este vorba de ştiinţă raţională, ci de iscusinţă şi de artificiu; nu este vorba numai de a *cunoaşte* procesele naturale, este vorba de a înşela natura, de a *unelti* ceva, de a obţine minuni, de a crea unele efecte străine ordinii

naturale. Deosebirea dintre domeniul manipulării practice şi acela al cunoaşterii raţionale a naturii este frapantă: Arhimede nu va căpăta decît statutul de matematician, de inginer; analiza sa matematică, despre echilibrul maşinilor nu este considerată ca aplicabilă lumii naturale, cel puţin în cadrul fizicii antice tradiţionale.

Altă deosebire stabilită cu fermitate este aceea dintre lumea cerului şi cea a pămîntului, dintre lumea aştrilor, imuabilă şi veşnică, şi lumea sublunară, în care totul este schimbător, muritor, supus pasiunilor şi degradării. Una dintre trăsăturile cele mai generale din societăţile vechi, propusă spre descifrare prin studiul comparat al religiilor, este diviziunea în spaţiu profan şi spaţiu sacru; spaţiul ordinar supus neprevăzutului, degradării, neînsemnat, este separat de lumea sacră, bogată în semnificaţii, sustrasă contingenţei şi istoriei. Este vorba de acelaşi contrast pe care Aristotel îl presupune între lumea aştrilor şi aceea a naturii terestre. Acest contrast se regăseşte în evaluarea posibilităţilor de a aplica matematicile la descrierea lumii. Deoarece mişcarea aştrilor nu este o schimbare, ci o stare perfectă şi etern identică cu ea însăşi, aceasta poate fi descrisă (chiar fără a fi explicată) de matematică. Descrierea matematică nu este însă adecvată lumii sublunare. Cît despre procesele naturale, imprecise intrinsec, ele nu pot face decît obiectul unor descrieri matematice aproximative, abstracţie făcînd de particularitatea lor ireductibilă.

Pentru Aristotel, problema interesantă nu este atît de a şti *cum* se produce un proces ci *de ce* se produce — sau, mai curînd, aceste două probleme nu pot fi separate. Vom reveni asupra ideii că una din sursele gîndirii aristotelice a fost observarea dezvoltării embrionare, proces organizat, în cursul căruia evenimentele se înlănţuie şi îşi răspund reciproc, cu toată aparenta lor independenţă, participînd la un proces de ansamblu ce pare să se supună unui plan global. După exemplul dezvoltării embrionare, întreaga natură

aristotelică este organizată potrivit unor cauze finale care dau astfel cheia pentru înțelegerea lucrurilor. Schimbările, dacă corespund cu *natura* lucrurilor, au ca rațiune realizarea fiecărei ființe în perfecțiunea *esenței* sale inteligibile. Este vorba așadar să înțelegem această esență care, pentru ființele vii este în același timp cauză finală, formală și eficientă.

Una din lecturile posibile asupra a ceea ce se numește nașterea științei moderne face din conflictul dintre adepții lui Aristotel și ai lui Galilei, un conflict între două raționalități ce se axează, una pe lumea sublunară (lumea organizată a ființelor vii) și cealaltă pe lumea aștrilor și a mașinilor, legate prin acest punct comun și decisiv, posibilitatea matematizării. În mod evident era vorba de un conflict iremediabil, deoarece fiecare avea să definească în mod diferit ceea ce este semnificativ în natură, ceea ce constituie un efect secundar, chiar o iluzie [34].

Pentru Galilei, problema *de ce*, prioritară la adepții lui Aristotel, trebuie exclusă din știință. În schimb, aceștia din urmă aveau să atribuie unui fanatism irațional tipul de legătură întreținut de Galilei cu cunoașterea empirică a inginerilor: modul experimental de cercetare.

4. Dialogul experimental

Ajungem aici la ceea ce constituie pentru noi singularitatea științei moderne: întîlnirea între tehnică și teorie, alianța sistematică între ambiția de a modela lumea și aceea de a o înțelege.

Contrar a ceea ce au vrut să creadă empiriștii, pentru ca o asemenea întîlnire să fie posibilă, nu era suficient doar raportul de *respect* față de faptele observabile. În anumite puncte, inclusiv descrierea mișcărilor mecanice, fizica tradițională a fost aceea care s-a supus cu cea mai mare

[34] Este tema majoră dezbătută de Koyré, în special în *Études galiléennes* (Paris, Hermann, 1966).

fidelitate evidenței empirice[35]. Dialogul experimental cu natura, pe care știința modernă se dovedește capabilă de a-l duce în mod sistematic, nu presupune o observație pasivă, ci una *practică*. Este vorba de a manipula, de a regiza realitatea fizică așa încît să i se poată conferi o proximitate maximă în raport cu o descriere teoretică. Este vorba de a pregăti fenomenul studiat, de a-l purifica, de a-l izola încît să devină asemănător unei *situații ideale*, irealizabile din punct de vedere fizic, dar prin excelență inteligibile, deoarece întruchipează ipoteza teoretică care călăuzește manipularea. Relația între experiență și teorie provine, așadar, din faptul că experimentarea supune procesele naturale unei interogări care nu capătă sens decît prin referire la o ipoteză privind principiile cărora le sînt supuse aceste procese și la un ansamblu de presupuneri privind anumite comportamente care ar fi absurd să fie atribuite naturii.

Să luăm ca exemplu descrierea funcționării unui sistem de scripeți, devenit clasic din vremea lui Arhimede, generalizat de către oamenii de știință moderni pentru toate mașinile simple. Este remarcabil de constatat că în acest caz, explicația modernă elimină ca perturbație secundară tocmai ceea ce ținea să explice fizica lui Aristotel: folosind scenariul tipic — faptul că bolovanul „rezistă" calului care-l trage și că această rezistență poate fi „înfrîntă" dacă tracțiunea se face prin intermediul unui sistem de scripeți. Potrivit principiului după care Galilei judecă natura, aceasta nu face daruri, nu oferă nimic gratuit

---

[35] Alexandre Koyré a insistat îndelung asupra acestui punct: la începuturile sale, știința modernă a trebuit să lupte nu numai împotriva tradiției metafizice, dominante, ci și împotriva tradiției empirico-tehniciste (în special în „La dynamique" de Nicolo Tartaglia, *Études d'historie de la pensée scientifique*, Paris, Gallimard, 1973). Trebuie să precizăm, că, după părerea noastră, această remarcă nu implică în nici un fel faptul că știința artizanală dezvoltată în Evul Mediu nu ar constitui una din rădăcinile cunoașterii științifice moderne.

şi este imposibil să fie înşelată; este absurd să gîndim că prin şiretlicuri sau artificii am putea s-o determinăm să producă un travaliu *suplimentar* [36]. Deoarece, cu sau fără scripeţi travaliul calului este acelaşi, el *trebuie* să producă acelaşi efect. Acesta va fi punctul de plecare al explicării mecanice noi. Aceasta se referă la o lume ideală în care efectul „nou" (bolovanul pus în sfîrşit în mişcare) este *secundar*, iar „rezistenţa" bolovanului este explicată prin frecarea ce produce o încălzire. Dimpotrivă, ceea ce se descrie de acum înainte cu precizie este situaţia ideală în care o relaţie de echivalenţă uneşte cauza, travaliul calului, şi efectul, deplasarea bolovanului. În această lume ideală, *calul poate în orice caz să deplaseze bolovanul* iar sistemul de scripeţi are ca rezultat doar modificarea modului de transmitere a eforturilor de tracţiune: în loc de a deplasa piatra pe aceeaşi lungime L în care se deplasează şi el trăgînd sfoara, calul nu o deplasează decît pe o lungime L/n în care n depinde de numărul de scripeţi. Ca orice maşină simplă, scripeţii nu reprezintă decît un dispozitiv pasiv, capabil numai de a transmite mişcarea şi nu de a o produce.

Dialogul experimental constituie un demers cu totul special. Experimentarea interoghează natura, dar în numele unor principii postulate, ca un judecător. Răspunsul naturii este înregistrat cu cea mai mare precizie, dar importanţa sa este evaluată prin referire la idealizarea ipotetică ce călăuzeşte experienţa: tot restul este vorbărie, efecte secundare neglijabile. Desigur, natura poate să respingă ipoteza teoretică respectivă, dar nu este mai puţin adevărat că aceasta constituie etalonul care măsoară valoarea şi sensul răspunsului, oricare ar fi el. Demersul experimental

---

[36] Eforturile consacrate de ingineri, pînă în secolul al XX-lea pentru construirea unei maşini cu mişcare perpetuă sînt o mărturie a extraordinarei persistenţe a acestei idei: un dispozitiv isteţ poate să *ocolească* principiile care reglează schimburile noastre cu natura. Vezi Ord-Hume A., *Perpetual Motion. The History of an Obsession*, New York, St. Martin's Press, 1977.

reprezintă deci o *artă*, ceea ce înseamnă că se sprijină pe o îndemînare deosebită și nu pe anumite reguli generale, și prin aceasta el nu poate garanta succesul, este expus trivialității și orbirii; nici o metodă nu poate îndepărta, de exemplu, riscul de a persevera într-o interogare lipsită de valoare. Artă selectivă, de discernămînt progresiv, de examinare exhaustivă a tuturor posibilităților de răspuns pe care le poate oferi natura într-o situație dată, arta experimentală consistă în alegerea unei probleme pentru a formula o ipoteză teoretică și în recunoașterea — în cadrul complexității proliferante a naturii — , a fenomenului capabil să întruchipeze consecințele acestui decret general. Este vorba în acel moment de a pune în scenă fenomenul ales pînă putem decide, într-o manieră ce poate fi comunicată și reprodusă, dacă acest fenomen este sau nu descifrabil potrivit textului matematic particular enunțat de ipoteză.

Metodă experimentală, criticată încă de la origini, minimalizată prin descrierile empiriste ale activității științifice, atacată fiind ca o tortură, încercare violentă de convingere: această metodă, în ciuda modificărilor de conținut teoretic al descrierilor științifice, se menține și definește modul nou de explorare elaborat de știința modernă. Chiar și astăzi, anumite „experiențe mintale", de punere în scenă în mod imaginar a unor situații experimentale guvernate complet de principii teoretice, au permis explorarea consecințelor răsturnărilor conceptuale din fizica contemporană: și anume din relativitate și mecanica cuantică. Rolul acesta l-a avut faimosul tren al lui Einstein din care un observator poate măsura viteza de propagare a unei raze de lumină emisă de-a lungul unui „povîrniș" adică deplasîndu-se cu o viteză c într-un sistem de referințe în raport cu care trenul se deplasează cu viteza v. În gîndirea clasică, observatorul ce se află în tren ar trebui să atribuie luminii care se deplasează în aceeași direcție cu el, o viteză $c-v$; dar această concluzie clasică constituie tocmai absur-

ditatea teoretică nouă pe care experienţa mintală este destinată să o demonstreze: într-adevăr, viteza luminii apare de acum înainte ca o *constantă universală* în legile fizicii; pentru a evita ca aceste legi, şi odată cu ele comportamentul fizic al corpurilor, să varieze cu mişcarea acestor corpuri, trebuie modificat principiul clasic de adunare a vitezelor, trebuie precizat că, în ceea ce priveşte lumina, oricare ar fi sistemul de referinţă din care este observată, ea va avea, i se va măsura permanent aceeaşi viteză, *c*; de aici încolo, trenul lui Einstein va putea circula explorînd consecinţele fizice ale acestei modificări fundamentale.

Metoda experimentală defineşte ansamblul dialogurilor cu natura încercate de ştiinţa modernă; ea fundamentează originalitatea acestei ştiinţe, specificitatea şi limitele ei. Este vorba desigur de o natură simplificată, prelucrată, uneori mutilată în funcţie de ipoteza iniţială, supusă interogării experimentale; cu toate acestea, ea îşi păstrează în general mijloacele de a infirma cele mai multe dintre ipotezele pe care ni le putem imagina. Einstein remarca faptul că, la întrebările ce i se pun, cel mai adesea, natura răspunde prin *nu* şi uneori prin *poate*. Astfel, omul de ştiinţă nu face tot ceea ce doreşte, el nu obligă natura să spună ceea ce ar vrea el, neputînd nici măcar să proiecteze asupra ei oricare dintre dorinţele şi aşteptările sale cele mai dragi. De fapt, omul de ştiinţă îşi asumă anumite riscuri, cu atît mai mari cu cît consideră că tactica sa poate învălui mai bine natura, somînd-o să răspundă [37]. Fără îndoială, aşa cum subliniază unii critici, fie că ar spune da sau nu, natura este permanent forţată să confirme limbajul teoretic în

---

[37] Această pasiune a riscului, inseparabilă de jocul experimental a fost exprimată de Popper în principii normative cuprinse în *La logique de la découverte scientifique*, în care declară că omul de ştiinţă *trebuie* să caute ipotezele cele mai puţin probabile, adică cele mai riscante, şi să încerce respingerea lor.

care i se vorbește. Dar acest limbaj el însuși evoluează conform unei istorii complexe în care intervin în același timp totalitatea răspunsurilor obținute de la natură, relația cu alte limbajuri teoretice, și de asemenea pretenția care renaște neîncetat sub forme noi, sub noi întrebări, nevoia de a înțelege natura în acord cu ceea ce se consideră valoros în fiecare epocă. Relația complexă între regulile specifice ale jocului științific — și îndeosebi modul experimental de dialog cu natura, care constituie o constrîngere majoră a acestui joc — și o cultură căreia omul de știință îi aparține chiar fără știrea lui, influențează întrebările puse de om, iar răspunsurile la rîndul lor o influențează pe aceasta.

Dialogul experimental reprezintă pentru cultura umană un cîștig ireversibil. El garantează că natura interogată de către om va fi tratată ca o ființă *independentă* (forțînd-o, desigur, să se exprime într-un limbaj poate neadecvat, dar căreia nu-i pot fi atribuite cuvintele pe care am dori să le auzim). Acest dialog fundamentează de asemenea caracterul comunicabil și reproductibil al rezultatelor științifice; oricare ar fi caracterul parțial al întrebărilor puse naturii, de îndată ce ea s-a exprimat, în condiții ce pot fi reproduse, fiecare trebuie să se încline: deoarece natura nu ar putea să ne înșele.

5. Mitul la originile științei

Noul dialog între om și natură constituie un pas important pentru înțelegerea naturii. Dar convingerea caracteristică a întemeietorilor științei moderne merge mult mai departe; Galilei și urmașii săi consideră știința ca fiind capabilă să descopere adevărul *global* al naturii. Nu numai că natura este scrisă într-un limbaj matematic, descifrabil prin experimentare, acest limbaj este însă și unic; lumea este omogenă, experimentarea locală descoperă un adevăr general. Feno-

menele simple studiate de știință pot de acum înainte să dea cheia pentru ansamblul naturii a cărei complexitate a rămas doar aparentă: diversitatea se reduce la adevărul unic al legilor matematice ale mișcării.

Este posibil ca această convingere, care dublează metoda experimentală și care *parțial a inspirat-o*, să fi fost necesară științei moderne la începuturile sale. Pentru a sfărîma jugul tradiției, pentru a da partizanilor experimentării o convingere și o putere polemică, care să-i facă capabili să înfrunte forma dominantă a raționalismului, era poate nevoie de o nouă concepție despre lume, tot atît de globală precum a fost concepția „biologică" a lumii aristotelice. Era poate necesară o convingere „metafizică" pentru a transpune cunoștințele artizanilor, ale constructorilor de mașini într-o nouă metodă de explorare rațională a naturii, într-o formă nouă de interogare fundamentală, pe care o regăsim în toate civilizațiile și în toate culturile. Aceasta fiind situația, putem să ne întrebăm ce implicație antrenează existența acestui tip de convingere „mitică", în legătură cu problema originii dezvoltării științei în epoca modernă. În legătură cu această problemă, foarte discutată [38], ne vom mărgini să avansăm cîteva observații cu singurul scop de a situa problema:

---

[38] Problema începuturilor științei moderne constituie unul din acele puncte în care apare cu multă claritate insuficiența unei istorii a științelor care se limitează la factorii științifici. Acestea fiind spuse, cum să abordăm istoria științelor? Se înfruntă două tradiții: aceea a lui Needham, Bernal, Hogben, Haldane, istorici englezi care au fost puternic influențați de întîlnirea cu istoricii sovietici din 1931 (al doilea congres internațional de istorie a științelor și a tehnologiei, Londra, 1931, publicat sub titlul *Science at the Cross Road's*, reeditat în 1971 la Londra, Frank Cass Edition); și aceea întemeiată de Koyré, pentru care știința, ca fenomen intelectual, trebuie explicată prin factorii intelectuali, și, în speță, prin renașterea unei forme de platonism. În legătură cu această situație se poate consulta articolul lui Rupert Hall „Merton revisited" (în *Science and Religious Belief, a Selection of Recent Historical Studies*, ed. Russel C.A., Londra, The Open University Press and University of London Press, 1973).

problema unei cercetări în care fiecare progres a fost simțit de unii ca o dezamăgire, ca o dureroasă descoperire a stupidității automate a lumii.

Este fără îndoială greu să negăm faptul că anumiți factori sociali și economici (îndeosebi dezvoltarea tehnicilor artizanale în mănăstiri, unde se păstrează de asemenea și vestigiile unor deprinderi aparținînd unei lumi dispărute, iar apoi în orașele dinamice și comerciale) au jucat un rol preponderent la începuturile științei experimentale, care, virtual, poate fi considerată cunoașterea artizanală sistematizată [39].

Este adevărat de asemenea că o analiză comparativă, ca aceea făcută de Needham [40], stabilește importanța hotărîtoare a structurilor sociale la sfîrșitul Evului Mediu: clasa meșteșugarilor și a producătorilor potențiali de inovații tehnice nu este o clasă disprețuită ca în Grecia antică, mai mult, intelectualii ca și meșteșugarii sînt și ei în mare parte independenți față de autorități. Ei sînt antreprenori liberi, meșteșugari inventatori, în căutarea unor Mecena, dispuși să amplifice la maximum efectele unei descoperiri, să o răspîndească, exploatîndu-i toate posibilitățile, chiar dacă aceasta ar fi periculoasă pentru ordinea socială stabilită. În contrast cu această situație, Needham arată că oamenii de știință chinezi erau funcționari supuși dispozițiilor birocrației, slujitori ai unui Stat care avea ca obiectiv principal menținerea stabilității și a ordinei. Busola, tiparul, praful de pușcă, care aveau să contribuie la prăbușirea fundamentelor societății medievale și să lanseze Europa în epoca modernă, au fost descoperite cu mult înainte în

---

[39] Pierre Thuillier a insistat, împotriva concepțiilor lui Koyré, asupra importanței practicii constructorilor de mașini, în special în ceea ce privește concepția unui spațiu omogen și izotrop. Vezi îndeosebi „Au commencement était la machine", în *La Recherche*, vol. 63, ianuarie 1976, p. 47—57.

[40] Needham J., *La Science chinoise et l'Occident. Le grand Titrage*, Paris, Seuil, colecția Point, 1977, îndeosebi capitolul „Science et Société à l'Est et à l'Ouest".

China, dar acolo aceste invenții n-au avut niciodată aceleași efecte destabilizatoare. Societatea europeană, activă și care se ocupa de comerț, era deosebit de aptă să stimuleze și să alimenteze dezvoltarea dinamică și inovatoare a științei moderne la începuturile ei.

Totuși problema rămîne. Știm că constructorii de mașini foloseau unele descrieri și concepte matematice: anumite raporturi între vitezele și deplasările diferitelor piese legate între ele, o geometrie a mișcărilor lor relative — dar de ce oare matematizarea nu s-a limitat numai la funcționarea mașinilor? De ce mișcările naturale au fost descrise folosind imaginea mașinii raționalizate? Aceeași întrebare poate fi pusă apropo de ceasornic, care reprezintă una din victoriile artizanatului medieval și, foarte repede, ajunge să determine ritmul vieții primelor comunități medievale — de ce această descoperire a devenit aproape imediat simbolul însuși al ordinii .lumii? Putem găsi aici indicarea unei direcții în care s-ar putea identifica unele elemente de răspuns. Ceasornicul este un mecanism *construit*, supus unei raționalități exterioare lui, unui plan realizat orbește de mecanismele lui. Lumea-ceasornic constituie o metaforă care ne amintește de Dumnezeu Ceasornicarul, creatorul rațional al unei naturi automate. În același mod, un oarecare număr de metafore și evaluări ale științei clasice, ale scopului și mijloacelor ei, sugerează ideea că la începuturile ei s-a stabilit o *rezonanță* între discursul teologic și activitatea experimentală a teoriei și măsurii, o rezonanță care ar fi putut să contribuie la amplificarea și consolidarea pretenției după care oamenii de știință sînt pe cale de a descoperi secretul „mașinii universale".

Termenul de rezonanță se referă bineînțeles la o problemă de extremă complexitate, și să fim iertați dacă-l semnalăm fără a încerca să-l rezolvăm. În particular nu avem nici mijloacele nici intenția de a avansa ideea că discursul religios a *determinat* într-un mod oarecare nașterea

științei teoretice sau „concepția despre lume" care, istorește, a apărut ca o dublare a activității experimentale. Vorbind despre rezonanță și de amplificarea reciprocă între două grupuri de discursuri, vrem ca în mod deliberat să ne folosim de termeni care nu presupun o anumită ipoteză conform căreia, indiferent dacă discursul teologic sau mitul științific a apărut primul, apoi acesta l-a declanșat pe al doilea [41].

Să menționăm în treacăt că ideea unei origini creștine a științei occidentale a interesat pe anumiți filozofi, nu numai în încercarea de a înțelege cum a putut fi stabilizată concepția despre natura automată și stupidă, dar totodată și în scoaterea la iveală a unei relații, pe care o doream mai esențială, dintre știința și civilizația occidentală. În ceea ce îl privește pe Alfred North Whitehead, pentru el această relație este de domeniul credinței: „trebuia" să existe un Dumnezeu legiuitor pentru a inspira fondatorilor științei moderne „crezul științific" necesar în primele lor lucrări: „Vreau să-mi exprim convingerea fermă că fiecare eveniment în toate amănuntele lui poate fi corelat cu antecedentele lui într-un mod absolut definit, aplicație a unor principii generale. Fără această convingere munca incredibilă a savanților ar fi lipsită de speranță. Este convingerea instinctivă ... : că există un secret ce poate fi dezvăluit ... Această convingere nu-și poate găsi originea decît într-o singură sursă: insistența medievală asupra raționalității lui Dumnezeu, concepută cu energia personală a lui Jehova și cu raționalitatea unui filozof grec [42]. „Totuși, chiar atunci cînd invocă continuitatea ideii de legali-

---

[41] Alegerea făcută de noi aici, comentînd rolul factorilor neștiințifici, nu trebuie să ascundă interesul profund pe care-l prezintă știința medievală, de-a lungul căreia s-au pregătit în special sinteza aritmeticii și a geometriei la care eșuaseră grecii antici, matematizarea mișcării în lumea sublunară, și introducerea cauzalității fizice în lumea celestă.

[42] Whitehead A. N., *Science and the Modern World.* The Free Press, New York, Mac Millan, 1967, p. 12.

tate universală, realizată succesiv în lume [43] de către Imperiul roman și apoi de către Biserica creștină, Whitehead rămîne la un nivel *psihologic:* inspirația creștină nu pare în măsură să justifice dintr-un punct de vedere *speculativ* faptul că realitatea sensibilă a putut fi concepută ca susceptibilă de măsură și de calcul, că s-a putut crede că a înțelege natura înseamnă a-i descoperi legea matematică. Cum ar putea natura să aibă idealitatea matematicii? Această problemă este evocată de Alexandre Kojève atunci cînd explică faptul că dogma încarnării a obligat pe creștini să creadă că ceea ce este ideal poate deveni trup. Dacă un dumnezeu a cunoscut încarnarea și suferința, la rîndul lor și idealitățile matematice sînt pasibile de a fi măsurate într-o lume materială [44].

Nu vom intra aici în acest gen de discuții; nu vedem nici un interes în a „dovedi" că știința modernă „trebuia" să se dezvolte în Europa. Nici nu avem de ce să ne punem întrebarea dacă toți întemeietorii științei moderne credeau în argumentele teologice pe care le invocau; important este faptul că aveau în acest fel mijlocul de a face ca oamenii să creadă și să accepte speculațiile lor, și acesta a fost cazul de-a lungul unei perioade, variabile de la o țară la alta; în textele oamenilor de știință englezi din secolul al XIX-lea referințele religioase sînt extrem de abundente. Iată deci că această problemă a originilor științei ne antrenează spre o problematică cu multiple dimensiuni. Problemele teologice și științifice sînt astfel asociate la ceea ce numim istoria „Externă" a științei, adică descrierea raportului dintre forma și conținutul cunoașterii științifice și contextul social. Ceea ce ne interesează aici este doar natura discursului științific care se amplifică prin rezonanța cu un discurs teologic.

---

[43] Whitehead A.N., *op., cit.*, și *Adventure of Ideas.* The Free Press, New York, Mac Millan, 1967.

[44] Kojève A., *„L'origine chrétienne de la science moderne"*, în *L'Aventure de l'esprit,* Mélange Koyré, Paris, Hermann, 1964.

Needham [45] relatează ironia cu care învățații chinezi din veacul al XVIII-lea au primit vestea dată de iezuiți despre victoriile științei moderne; ideea că natura putea fi supusă unor legi simple ce puteau fi cunoscute reprezenta pentru mandarini un exemplu de naivitate antropomorfică. Această „naivitate" este considerată de Needham ca având profunde rădăcini culturale. Pentru a ilustra diferența dintre concepțiile occidentale și cele chineze, el reamintește procesele animalelor care au avut loc în Evul mediu. În mai multe rînduri, apăreau monștri, ca de exemplu un cocoș care se oua; aceștia au fost condamnați în mod solemn și arși pentru că au contravenit legilor naturii, identificate cu legile lui Dumnezeu. În China, același cocoș ar fi avut toate șansele să dispară discret, nu pentru vreo vinovăție oarecare, ci pentru că comportarea sa monstruoasă ar fi exprimat o disonanță în armonia naturală, ceea ce, la rîndul său ar fi relevat o disarmonie la nivelul social: guvernatorul provinciei, dacă nu chiar și împăratul, s-ar fi putut afla în pericol dacă ar fi cunoscut simptomul reprezentat de cocoș. După cum explică Needham, după o concepție filozofică dominantă în China, cosmosul reprezintă o armonie spontană, regularitatea fenomenelor nu se datorește nici unei autorități exterioare, în natură, în societate sau în cer, ea se naște din însuși echilibrul acestor procese, stabile și solidare, rezonînd între ele într-o armonie care nu are nevoie de dirijor. Dacă aceste fenomene ar putea fi guvernate de vreo lege atunci ar fi vorba de o lege, la care niciodată vreun zeu sau vreun om nu s-ar fi gîndit și nici n-ar fi exprimat-o într-un limbaj indescifrabil pentru om, și nu o lege proclamată de un creator, conceput după chipul nostru, o simplă proiecție a unei convenții umane asupra naturii.

De aceea, Needham conchide printr-o întrebare: „În perspectiva științei moderne, nu găsim, evident, nici o urmă din noțiunile de comandă

[45] Needham J., *op. cit.*, p. 221.

și de datorie pentru tot ce se referă la „legile" naturii. Astăzi aceste noțiuni sînt gîndite în alt mod: în termeni de regularități statistice, valabile doar pentru anumite momente și locuri date, în termeni de descriere și nu de prescriere ... Problema este de a ști dacă recunoașterea acestor regularități statistice și a expresiilor lor matematice ar fi putut fi obținută pe altă cale decît aceea care a fost efectiv calea aleasă de știința occidentală. Această stare de spirit, care a făcut ca un cocoș care se ouă să fie urmărit de justiție, era oare necesară în interiorul unei culturi pentru ca aceasta să fie capabilă ulterior să dea naștere unui Kepler? "[46]

Pentru a evita orice confuzie, trebuie să precizăm că nici unul dintre filozofii la care ne-am referit nu susține că discursul științific înseamnă transpunerea discursului religios. Lumea descrisă de fizica clasică nu este lumea Genezei în sînul căreia Dumnezeu a creat succesiv lumina, cerul și pămîntul, apoi speciile vii și în sînul căreia Providența sa acționează neîncetat, provocînd omul la o evoluție istorică în care se hotărăște salvarea sa. Dimpotrivă, după cum vom vedea, dacă lumea a fost creată, a fost vorba de o lume atemporală, creată dintr-o singură dată, precum un inginer construiește o mașină automată lăsînd-o să funcționeze singură. În acest sens trebuie să spunem că fizica s-a constituit ca știință atît împotriva religiei, cît și împotriva filozofiilor tradiționale. Și totuși, un Dumnezeu creștin a fost chemat să garanteze inteligibilitatea lumii, într-un duel nu tocmai nevinovat. Putem presupune chiar, că într-o anumită măsură a existat o „convergență" între interesul teologiilor pentru care lumea, prin totala ei supunere trebuia să exprime atotputernicia lui Dumnezeu, și acela al fizicienilor, în căutarea unei lumi constituită din procese ce pot fi matematizate.

---

[46] Needham J., *op. cit.*, p. 243.

Lumea naturală aristotelică, destrămată de știința modernă, nu era acceptabilă nici pentru acești teologi, nici pentru acești fizicieni. Această lume ordonată, armonioasă, ierarhică și rațională era o lume prea autonomă, ființele ce o compuneau erau prea puternice și active, iar supunerea lor față de un Suveran absolut rămînea suspectă și limitată [47]. Pe de altă parte, lumea aceasta era mult prea complexă și diferențiată calitativ pentru a fi exprimată prin modelare matematică.

Cît despre natura „mecanizată" a științei moderne, natură călăuzită după un plan care o domină, dar pe care nu-l cunoaște, neputînd prin urmare decît să-și glorifice creatorul, această natură îndeplinește perfect cerințele tuturor. Leibniz a încercat, într-adevăr, să demonstreze că în principiu, matematizarea este compatibilă cu o lume multiplă, avînd un comportament activ și calitativ diferențiat, dar unii oameni de știință și teologi își dau mîna pentru a descrie natura ca pe un mecanism stupid și pasiv, esențialmente străin libertății și finalității spiritului uman. „O afacere tristă, lipsită de sunet, de miros, de culoare, doar materie, care se grăbește fără scop, fără semnificație", după cum comentează Whitehead [48]. Și, într-adevăr, ca atare, natura realizează această convergență de interese pe care am evocat-o. Natura care-l lasă pe om față în față cu Dumnezeu, este totodată natura ce poate fi descrisă printr-un limbaj unic — și nu prin miile de voci matematice pe care le percepea Leibniz. Această natură, despuiată de ceea ce permitea omului ca prin participarea sa să se

[47] R. Hooykaas a subliniat această „redivinizare a lumii" operată de metafora creștină despre lumea-mașină în *Religion and the Rise of Modern Science*, Edinburg și Londra, Scottish Academic Press, 1972, în special p. 14—16. Jacques Roger (*Les Sciences de la vie dans la pensée française du XVIII^e siècle*, Paris. Armand Colin, 1971) a descris în biologie afinitatea dintre curentul augustinist și cel mecanicist, ambele ajungînd la formula „a scoate totul de la natură pentru a dărui totul lui Dumnezeu".

[48] Whitehead A.N., *Science and the Modern World*, p. 54,

identifice cu vechea armonie a lucrurilor, este totodată natura care printr-o întrebare bine concepută poate dezvălui dintr-o dată adevărul unic și total.

Din acesl moment omul care descrie natura nu poate să-i aparțină, el o domină numai din exterior. Și aici o anumită gîndire teologică poate permite să se justifice poziția stranie a omului care, potrivit științei moderne, este capabil, — prin măsurători și calcule laborioase — să descifreze legea fizică a lumii. Galilei arată că sufletul omenesc, creat după imaginea lui Dumnezeu, este capabil să sesizeze adevărurile inteligibile care guvernează planul creațiunii. Omul poate să progreseze deci, pas cu pas, spre o cunoaștere a lumii pe care Dumnezeu la rîndul lui o posedă într-un mod intuitiv plenar și integral[49].

Contrar filozofilor atomiști din Antichitate, persecutați pentru ateism, și contrar lui Leibniz bănuit uneori că ar nega mulțumirea și libertatea omenească, oamenii de știință moderni au reușit să descopere pentru folosul lor o definiție acceptabilă din punct de vedere cultural. Spiritul uman, care se află în trupul supus legilor naturii, prin mijloace experimentale este capabil să ajungă la punctul de vedere al lui Dumnezeu asupra lumii, la planul divin pe care această lume îl exprimă global și local. Acest spirit nu poate însă domina propria sa acțiune. Omul de știință poate să definească drept calități secundare (ce nu aparțin obiectiv naturii dar sînt proiectate asupra ei de către spirit) tot ceea ce reprezintă însăși structura acestei naturi, parfumurile, culorile, mirosurile, fără ca aceasta să însemne redu-

---

[48] Celebrul text al lui Galilei în legătură cu natura exprimată în caractere geometrice figurează în *Il Saggiatore*, citat de Koyré în „Galilée et Platon", în *Études d'Historie de la Pensée scientifique*, p. 186. Vezi de asemenea *Dialogues des deux grands systèmes du monde* și studiul lui Koyré asupra acestui text apărut în *Études galiléennes*, p. 277—290.

cerea lor. Dimpotrivă, singularitatea sa este încă și mai puternică: cu cît natura este mai înjosită, cu atît este mai slăvit cel care-i scapă.

Înțelegem sensul pe care a putut să-l îmbrace descoperirea gravitației universale: succes aparent, integral, al proiectului de a face ca natura să dezvăluie dintr-o dată adevărul, să descopere punctul de vedere din care, printr-o singură privire dominatoare, ea poate fi contemplată, așa cum se prezintă, deschisă și fără mister.

6. Mitul științific astăzi

Am încercat să schițăm o situație în care practica științifică a putut fi însoțită de o convingere metafizică — Galilei și urmașii săi pun aceleași probleme ca și constructorii de mașini medievali, dar se detașează de știința acestora, prea fidelă complexității empirice, pentru a decreta, cu ajutorul lui Dumnezeu, simplitatea lumii și universalitatea idealizărilor care se supun procedurii experimentale. Totuși, dacă mitul fondator al științei moderne a însemnat un efect al acestui complex special care a creat, la sfîrșitul Evului Mediu, condițiile de rezonanță și de amplificare reciprocă a factorilor economici, politici, sociali, religioși, filozofici și tehnici, debarasarea de acest complex, în sînul unei culturi transformate, trebuia să izoleze destul de repede știința și mitul ei inavuabil.

Știința clasică s-a născut în sînul unei culturi dominate de alianța dintre *om*, situat la punctul de inserție între ordinea divină și ordinea naturală, și *Dumnezeu*, legiuitor rațional și inteligibil, arhitectul suveran pe care l-am conceput după chipul nostru. Știința a supraviețuit acestui moment de acord ambiguu [50], care a permis filo-

[50] Maurice Merleau-Ponty a subliniat unitatea culturală din această epocă, unitate din care știința face parte integrantă: „Veacul al XVII-lea este momentul privilegiat, în care cunoașterea naturii și cea a metafizicii păreau să fi găsit o bază comună. El a creat știința naturii și totuși nu a făcut din obiectul științei un canon al ontologiei... Ființa nu este

zofilor și teologilor să se ocupe cu știința, iar oamenilor de știință să descifreze și să comenteze înțelepciunea și puterea divină manifestate în Creațiune.

Cu sprijinul religiei și al filozofiei, oamenii de știință au conceput demersul lor ca autosuficient, ca susceptibil de a epuiza toate posibilitățile abordării raționale a fenomenelor naturii. În acest sens nu se punea problema de a justifica raportul dintre descrierea științifică și filozofia naturii: era de la sine înțeles că știința și filozofia erau convergente, că știința trebuia să descopere principiile unei autentice filozofii naturale. Acest sentiment de autosuficiență va supraviețui la oamenii de știință odată cu îndepărtarea de Dumnezeul clasic, cu dispariția garanției epistemologice oferită de teologie. Desigur, omul de știință se regăsește pe pământ singur, dar știința pe care o moștenește *nu mai este aceea care avea să-i apere demersul împotriva aristotelicilor*. De aci înainte este vorba de știința triumfătoare a veacului al XVIII-lea [51]; ea a descoperit legile mișcării corpurilor terestre și cerești; D'Alembert și

---

în întregime înjosită pe planul Ființei exterioare. Există de asemenea ființa subiectului sau a sufletului, și ființa ideilor sale, și relațiile dintre idei, iar acest univers de care am vorbit este tot atît de mare ca și celălalt... Toate problemele care vor fi suprimate de către o ontologie scientistă, instalîndu-se fără critică în ființa exterioară ca mediu universal, sînt puse, dimpotrivă, neîncetat de către filozofia secolului al XVII-lea". (*Éloge de la Philosophie*, Paris, Gallimard, colecția Idées, 1960, p. 218—219).

[51] Această știință a fost, în orice caz, triumfătoare în Franța și a fost impusă în academiile din Prusia și din Rusia de către suveranii lor absoluți. Ben David (*The Scientist's Role in Society. A Comparative Study* Foundation of Modern Sociology Series, Engelwood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1971) a insistat asupra diferenței dintre situația fizicienilor-matematicieni din aceste țări, care se consacră științei pure, unei activități prestigioase dar pur teoretice, și cea a fizicienilor englezi cufundați într-o multitudine de probleme empirice și tehnice. Ben David propune o corelație între fascinația pentru o știință strict teoretică și menținerea departe de putere a clasei sociale care alimentează „mișcarea scientistă", văzînd în știință promisiunea progresului social și material.

Euler au putut să încerce să-i formuleze principiile într-un sistem complet și coerent; Lagrange i-a retrasat istoria ca pe o împlinire logică spre perfecțiune; este știința glorificată de academiile întemeiate de suverani absoluți, Ludovic al XIV-lea, apoi Frederic al II-lea și Ecaterina a Rusiei [52]. Este acea știință care a făcut din Newton un erou național. Pe scurt, este o știință *care a reușit*, o știință care-și imaginează *a fi demonstrat* că natura este transparentă și poate fi explicată ca atare. La întrebarea lui Napoleon, care este locul lui Dumnezeu în sistemul său cosmogonic, Laplace răspunde: „Nu avem nevoie de această ipoteză".

În același timp cu pretențiile, vor supraviețui și implicațiile dualiste ale științei moderne. Pentru știința lui Laplace, care, în multe privințe mai reprezintă încă știința noastră, o descriere este cu atît mai obiectivă, cu cît observatorul poate fi eliminat, cu cît ea se face dintr-un punct de vedere exterior lumii — adică, de fapt, din punctul de vedere divin la care, sufletul omenesc creat după imaginea lui Dumnezeu avea acces în primele timpuri. Știința clasică vizează în permanență să descopere adevărul unic al lumii, limbajul unic care să descifreze natura în totalitatea ei — i-am putea spune astăzi *nivelul fundamental de descriere* — punctul de plecare din care, în principiu, poate fi dedus tot ceea ce există. Știința clasică postulează permanent monotona stupiditate a lumii căreia îi pune întrebări.

Vom cita, în legătură cu acest punct esențial, un text scris de Einstein, care traduce în limbaj modern tocmai ceea ce am numit mitul de bază al științei moderne:

---

[52] Thomas Hankins în biografia lui D'Alembert (*Jean D'Alembert, Science and Enlightment*, Oxford, Clarendon Press, 1970) a subliniat caracterul foarte restrîns, și deja închis, al primei comunități științifice adevărate — în sensul modern —, aceea a fizicienilor-matematicieni din secolul al XVIII-lea și relațiile lor strînse cu suveranii absoluți menționați mai sus.

„Printre toate imaginile posibile despre lume, care este poziția ocupată de imaginea fizicianului teoretician? Această imagine comportă cele mai mari exigențe privind rigoarea și exactitatea în descrierea raporturilor, așa cum se poate obține numai prin folosirea limbajului matematic. În schimb însă, fizicianul, materialmente trebuie să se limiteze foarte mult, mulțumindu-se a reprezenta fenomenele cele mai simple ce pot fi accesibile experienței noastre, în timp ce toate fenomenele mai complexe nu pot fi reconstituite de gîndirea umană cu acea precizie subtilă și acea perfecțiune logică pe care o pretinde fizicianul teoretician. Extrema acurateță, claritatea, certitudinea, nu se obțin decît cu prețul completitudinii. Ce atracție poate avea însă faptul de a sesiza cu precizie o porțiune atît de mică din natură, lăsînd la o parte, cu timiditate și lipsă de curaj, tot ceea ce este mai delicat și mai complex? Rezultatul unui efort atît de modest merită oare trufașa denumire de «imagine a lumii»?

„Cred că această denumire este binemeritată, deoarece legile generale pe care se bazează construirea fizicii teoretice au pretenția de a fi valabile pentru toate evenimentele din natură. Cu ajutorul acestor legi, și pe calea deducției pur logice, ar trebui să putem descoperi imaginea, adică teoria tuturor fenomenelor din natură, inclusiv a fenomenelor vieții, dacă acest proces de deducție nu ar depăși cu mult capacitatea gîndirii umane. Așadar, nu din principiu renunțăm la completitudinea imaginii fizice despre lume“ [53].

După cum am spus, o perioadă de vreme unii oameni de știință au putut păstra iluzia că atracția, exprimată de legea gravitației, ar îngădui să atribuim naturii o însuflețire intrinsecă și, prin generalizare, ar explica geneza unor forme de activitate din ce în ce mai specifice și selective, mergînd pînă la interacțiunile care constituie societatea umană. Speranța că forțele newtoniene

[53] Einstein A., *op. cit.*, p. 108—109.

ar permite să se elibereze lumea din subjugarea sa mecanică s-a prăbuşit rapid. Lumea forţelor nu era capabilă de a răspunde aşteptărilor romantice şi nu permitea omului de ştiinţă să scape de poziţia de observator depersonificat în sînul unei naturi postulate ca inteligibilă şi transparentă.

Acest eşec, precum şi eşecul altor încercări de a relua ambiţiile ştiinţei, negînd însă mitul acesteia, ne arată fantastica coerenţă a viziunii clasice. Singura interpretare capabilă de a rivaliza cu ea părea negarea pozitivistă a modului de a înţelege, în favoarea modului de manipulare şi prevedere. Veacul al XIX-lea îşi imaginează a fi descoperit că adevărul este trist, că, oricare ar fi convingerile personale ale savanţilor, progresul ştiinţei revine mereu la acelaşi lucru; tot ceea ce atinge ştiinţa clasică se ofileşte şi moare, moare în faţa diversităţii calitative, a singularităţii, pentru a deveni simpla consecinţă a unor legi generale. Ceea ce pentru unii dintre întemeietorii ştiinţei moderne fusese *convingere* generatoare de inspiraţie, de aici înainte apare ca o *concluzie* a ştiinţei înseşi, impusă de propriul ei succes [54] şi, după cît se pare, impusă de raţionalitatea şi obiectivitatea ştiinţifică. În momentul în care-şi propune să explice semnificaţia generală a rezultatelor sale, să le situeze într-o perspectivă culturală de valoare, fizicianul nu dispune decît de limbajul mitului, singurul discurs coerent care răspunde profundelor exigenţe ale activităţii ştiinţifice; înţelegerea naturii şi modul în care societăţile omeneşti se integrează în natură.

Am revenit la punctul de la care am plecat, la ideea că ştiinţa *clasică*, ca produs al unei culturi şi chiar, un anumit timp, simbol al unei unanimităţi culturale, şi nu ştiinţa în general a putut determina criza culturală pe care am descris-o. Dezvoltîndu-se în sînul lumii noi şi în

---

[54] Din acest punct de vedere, după cum vom vedea în cap. III, succesul unui anumit kantianism reprezintă justificarea celor mai triumfaliste interpretări despre progresul ştiinţific în cadrul unei noi coerenţe, în centrul căreia se află, de aici înainte, omul şi nu Dumnezeu.

interacțiune cu aceasta, știința clasică nu a putut elabora o coerență nouă care să-i justifice acea dublă ambiție: a înțelege lumea și a acționa asupra ei. Omul de știință s-a aflat redus la o permanentă oscilație între mitul științific și tăcerea impusă de „seriozitatea științifică", între afirmarea caracterului absolut și global al adevărului științific și retragerea spre o concepție a teoriei științifice ca simplă rețetă pragmatică, îngăduind o eficace intervenție în procesele naturale. În confuzia culturală a epocii noastre, științele naturii au devenit în cele din urmă o realitate ce pare că se sustrage analizei. Simultan, celelalte activități intelectuale, artele, filozofia, științele despre om și societate, au pierdut nu numai una din cele mai bogate resurse de inspirație de care dispuneau, dar, mai mult, dacă țin să-și afirme originalitatea proprie, trebuie să lupte pentru a se sustrage modelului științelor naturii, model cu atît mai fascinant, cu cît el rămîne obscur.

După cum am afirmat, susținem teza că știința clasică și-a atins în momentul de față propriile limite; și după cum vom vedea, unul din aspectele acestei transformări teoretice este descoperirea limitelor conceptelor clasice care, pentru cei ce credeau în validitatea lor universală, implica posibilitatea unei cunoașteri complete a lumii. Căci, dacă în textele științifice mai abundă încă și în momentul de față ființele atotștiutoare, demonul lui Laplace, al lui Maxwell, Dumnezeul lui Einstein, aceasta nu înseamnă arhaism, simplă naivitate sau „filozofia spontană a savantului". Conținutul teoretic al științei clasice a contribuit din plin la stabilizarea unui mit despre savantul atotștiutor. De aceea, la rîndul nostru vom folosi referințe de acest tip atît pentru a le analiza conținutul teoretic cît și pentru a studia de ce ele sînt astăzi imposibile: pentru noi ele reprezintă un indicator foarte sigur, permițînd identificarea teoriilor care aparțin acestei științe clasice și care se sfîrșește odată cu metamorfozele ei actuale.

În ajunul apariției științei newtoniene, John Donne deplîngea cosmosul aristotelic distrus de Copernic:

„Noua filozofie la-ndoială pune totul,
Elementul focului în întregime s-a stins,
Soarele-i pierdut la fel ca și Pămîntul,
Și nici un om, să-l caute nu știe unde.
Și liber oamenii proclamă că această lume-i epuizată
Cînd în planete și pe firmament
Atîtea noutăți ei caută
Ei văd atunci că totul în atomi se pulverizează,
Totul e-n bucăți, și nici o coerență nu mai află" [55]

La fel ca în epoca lui John Donne, în cărămizile împrăștiate și blocurile disparate care constituie astăzi edificiul culturii noastre, se dezvăluie posibilitatea unei noi coerențe. Știința clasică, știința mitică a unei lumi simple și pasive, este pe cale de a muri, ucisă nu de critica filozofică, nu de resemnarea empiristă, ci de propria ei dezvoltare.

Fără a renunța de a înțelege natura, ne aflăm însă astăzi la un punct de convergență, cel puțin parțial, în încercările de abandonare a mitului newtonian. Vom arăta că această convergență conturează limpede cîteva teme fundamentale: este vorba despre timp, pe care știința clasică îl descrie ca reversibil, legat numai de măsurarea mișcării, la care ea reduce orice schimbare; este vorba despre activitatea novatoare, negată de știința clasică, care-i opune un determinism automat; este vorba despre diversitatea calitativă, fără de care nici devenirea, nici acțiunea nu pot fi concepute, reduse însă de știința clasică la o simplă aparență. Credem că știința de azi se eliberează de mitul newtonian, deoarece *teoretic* a ajuns la concluzia că este imposibil a reduce natura la simplitatea unei realități dominate de legi universale. Știința de astăzi nu mai poate să-și aroge dreptul de a nega pertinența și inte-

[55] Donne J., *An Anatomy of the World*, 1611.

resul altor puncte de vedere, și îndeosebi de a refuza să țină seama de punctele de vedere exprimate de științele umaniste, de filozofie, de artă.

Am discutat despre rezonanța dintre discursul științific și cel teologic. Astăzi putem vorbi despre o altă rezonanță între știință și dominația „laică" a unei lumi industrializate, dublată de cunoscuta afinitate dintre folosirea acestei dominații și practica științifică, bine compartimentată și discretă. Cu această știință metamorfozată credem că dialogul cultural este din nou posibil și, implicit, că se poate încheia o nouă alianță cu natura, la al cărei viitor participă jocul experimental și aventura exploratoare a științei. Bineînțeles, este vorba doar de o posibilitate. Dacă astăzi știința însăși invită pe omul de știință spre înțelegere și deschidere, dacă au dispărut alibiurile teoretice pentru dispreț și dogmatism, rămîne însă sarcina concretă, politică și socială, de a crea circuitele unei culturi.

Capitolul II

Identificarea realului

1. Legile lui Newton

Pătrundem acum în această știință clasică pentru a-i înțelege punctele tari, ceea ce ea a reușit să clarifice despre natură odată pentru totdeauna, pentru a-i înțelege slăbiciunile, tot ce a trebuit să nege și ceea ce acum se întoarce împotriva ei.

Începînd cu Galilei, o problemă centrală, am putea spune aproape problema centrală a fizicii, este problema accelerației corpurilor; cerînd naturii socoteală despre schimbările suferite de starea de mișcare și de repaus a corpurilor, s-au

putut obține răspunsuri matematice. Galilei a descoperit că natura nu trebuie interogată despre *cauza* stării ei de mișcare dacă aceasta este uniformă, după cum nu trebuie întrebată despre cauza stării de repaus: mișcarea și repausul se mențin veșnic ele însele (de la sine) dacă nu apare nici o perturbație. În schimb, i se vor cere explicații pentru orice trecere de la repaus la mișcare, de la mișcare la repaus, pentru orice schimbare de viteză. Totuși, natura nu va fi interogată despre cauza accelerației; se va pune întrebarea cum se efectuează această transformare, în scopul de a fi descrisă și de a-i stabili legea matematică.

Formularea legilor newtoniene ale mișcării realizează sinteza a două dezvoltări convergente, aceea din fizică — descrierea mișcării, cu legile lui Kepler și legile căderii corpurilor formulate de Galilei — și aceea din matematică care a avut ca rezultat calculul „infinitesimal".

Cum poate fi descrisă o viteză care variază în mod continuu? Cum poate fi descrisă evoluția, moment cu moment, a diferitelor mărimi, poziție, viteză, accelerație, care caracterizează starea instantanee a unui mobil. Matematicienii au introdus conceptul de cantitate infinitesimală pentru a răspunde la asemenea întrebări. O cantitate infinitesimală rezultă dintr-o trecere *la limită*, este variația unei mărimi între două momente succesive, cînd intervalul între aceste două momente tinde spre zero. Descrierea infinitesimală poate să descompună astfel schimbarea într-o serie infinită de schimbări infinit mici, în timp ce înainte, ea nu putea fi descrisă decît ca rezultatul unui număr finit de tranziții, de mărime finită, alăturate ca mărgelele dintr-un șirag.

În fiecare moment descrierea stării unui mobil cuprinde nu numai poziția, pe care o vom nota cu r, dar și „tendința instantanee" de a-și schimba poziția, adică viteza v din acel moment și tendința de a-și modifica această viteză, adică

acceleraţia sa: a. Viteza şi acceleraţia instantanee sînt „concepte limite" măsurînd o variaţie instantanee ca raportul între două cantităţi infinitesimale: variaţia mărimii poziţie (sau viteză), într-un interval de timp Δt, care tinde spre zero, şi intervalul de Δt însuşi. Asemenea mărimi sînt denumite „derivate în raport cu timpul". De la Leibniz s-a păstrat formula $v = dr/dt$. Cît despre acceleraţie, $a = dv/dt = d^2r/dt^2$ derivată a unei derivate, este o *derivată* „a doua".

Problema asupra căreia se concentrează fizica newtoniană este calculul derivatei a doua, a acceleraţiei suferite în fiecare moment de către diferitele puncte ale unui sistem material. Mişcarea fiecăruia din aceste puncte într-un interval de timp finit va fi calculabilă prin *integrare*, adică sumarea variaţiilor infinitesimale de viteză suferite în acest interval. Cazul cel mai simplu este acela în care a este o constantă (pentru căderea unui corp de exemplu a este constanta gravitaţională g). În general, acceleraţia însăşi variază în cursul timpului, iar sarcina fizicianului este tocmai de a determina natura acestei variaţii.

În limbajul newtonian, a studia acceleraţia înseamnă a determina diferitele „forţe" care acţionează asupra punctelor din sistemul studiat. Ceea ce numim în mod tradiţional a doua lege a lui Newton $F = ma$ exprimă egalitatea în fiecare moment între forţa aplicată unui punct şi acceleraţia pe care o produce, înmulţită cu masa. Această echivalenţă între forţă şi acceleraţie dă versiunea matematică a structurii cauzale proprie lumii dinamicii: lume în care nimic nu se produce, în care nici o mişcare nu începe, nu variază sau nu se termină dacă nu este efectul unei forţe, şi aceasta în fiecare moment.

În cazul unui sistem de puncte materiale, problema se complică prin faptul că în fiecare moment valorile forţelor aplicate variază în funcţie de acceleraţiile determinate de aceste forţe în momentul precedent. Forţele studiate de fizica

newtoniană sînt în realitate funcție de configurația spațială a sistemului de corpuri între care acționează și variază, așadar, cînd variază distanțele dintre aceste forțe.

O problemă dinamică se pune sub forma unui sistem de ecuații diferențiale; starea instantanee a fiecăruia din punctele sistemului este descrisă prin viteza și accelerația sa, adică prin derivata întîi și a doua. Acest sistem de ecuații descrie următoarea situație: în fiecare moment un ansamblu de forțe, funcție de distanța între punctele sistemului (deci funcție de r) generează o accelerație particulară dv/dt pentru fiecare din aceste puncte; ansamblul acestor accelerații determină la rîndul său modificarea distanțelor dintre puncte și deci rezultanta ansamblului de forțe ce va acționa în momentul următor.

În timp ce ansamblul acestor ecuații diferențiale *pune* problema dinamică, „integrarea" lor reprezintă *soluția*. Integrarea ecuațiilor mișcării conduce la calculul ansamblului *traiectoriilor* $r(t)$ ale punctelor din sistem. Traiectoriile spațio-temporale ale unui ansamblu de puncte în interacțiune conțin totalitatea informațiilor recunoscute de dinamică drept relevante; ele constituie descrierea completă a sistemului dinamic.

Orice descriere dinamică implică, așadar, două tipuri de date empirice: pe de o parte, *descrierea pozițiilor și a vitezelor* fiecăruia din punctele unui sistem *la un moment dat*, adeseori denumit moment inițial, deoarece integrarea ecuațiilor dinamice va da, plecînd de la „starea inițială" descrisă astfel, succesiunea de stări, adică ansamblul traiectoriilor de puncte; pe de altă parte, *natura forțelor dinamice*, adică modul în care accelerațiile instantanee ce au fost generate pot fi deduse din starea instantanee a sistemului.

În ceea ce privește cel de-al doilea punct, știm că triumful științei newtoniene rezidă în descoperirea că o singură forță, forța gravitației, determină mișcarea planetelor, a cometelor și a cor-

purilor care cad pe Terra. Oricare ar fi cuplul de corpuri materiale, distanța și masele lor respective, sistemul newtonian conține ideea că o forță de atracție le unește, că ele sînt atrase unul spre celălalt de această forță proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței care le separă.

Dinamica newtoniană se prezintă astfel de două ori universală. Definiția legii gravitației care descrie în ce mod masele tind să se apropie unele de altele, nu conține nici o referință la scara fenomenelor. Ea se aplică la fel mișcării atomilor, a planetelor, a stelelor unei galaxii: orice corp, de orice dimensiune, posedă o masă, adică este supus forțelor newtoniene de interacțiune. Pe de altă parte, dacă definim un sistem dinamic prin aceea că mișcarea fiecăruia din punctele lui este în fiecare moment determinată de poziția și viteza ansamblului de puncte materiale care-l constituie, riguros vorbind, singurul sistem dinamic este Universul ca un întreg. Deoarece corpurile interacționează în Univers, oricare ar fi distanța care le separă, sistemele dinamice locale, precum sistemul planetar, nu pot fi definite decît prin aproximație, neglijîndu-se ansamblul forțelor mici în raport cu acelea al căror efect se calculează.

Vom insista asupra acestui punct: oricare ar fi sistemul dinamic, forma legilor mișcării $F = ma$ rămîne valabilă. Ar putea fi descoperite alte tipuri de forțe decît forța gravitațională — și au fost efectiv descoperite: pentru a nu cita decît forțele de atracție și repulsie electrice — și care ar contribui la modificarea conținutului empiric al legilor mișcării; dar noile forțe descoperite nu ar modifica *forma* care definește ceea ce este fundamental, în lumea dinamicii, ceea ce înseamnă reducerea schimbării la un ansamblu de traiectorii. Această semnificație este cuprinsă în cele trei atribute ale traiectoriei dinamice: *legitatea, determinismul, reversibilitatea.*

Legea dinamică care determină traiectoria dă ansamblul accelerațiilor instantanee din forțele

de interacțiune între punctele sistemului. Ea presupune deci determinată natura forțelor, modul în care ele variază cu distanța între aceste puncte. Această lege nu este totuși suficientă pentru a descrie cutare sau cutare evoluție dinamică particulară, ci numai pentru a defini toate evoluțiile posibile. Pentru a calcula o traiectorie, cunoașterea legii mișcării trebuie completată prin cunoașterea empirică a unei stări instantanee oarecare a sistemului. Din această „stare inițială" legea generală deduce succesiunea stărilor pe care le parcurge sistemul, după cum un raționament logic deduce concluzia pornind de la premise. Este remarcabil faptul că odată legea cunoscută, oricare din stările particulare poate defini sistemul în totalitate și nu numai evoluția în viitor, dar și aceea care aparține trecutului, care a dus la această stare. Astfel, în orice moment, totul este dat. Dinamica definește toate stările ca echivalente deoarece fiecare din ele permite să se determine toate celelalte, să se prezică totalitatea traiectoriilor ce constituie evoluția sistemului.

„Totul este dat", această expresie la care a meditat adesea Bergson, rezumă dinamica și realitatea pe care o descrie; totul este cunoscut odată cu datele inițiale; legea generală de evoluție dinamică nu permite nici o prezicere particulară atîta vreme cît nu este definită una din stările sistemului; imediat ce o stare este definită, legea determină în întregime sistemul, permite să se deducă evoluția lui, să se calculeze starea pentru oricare moment anterior sau ulterior.

Totul este cunoscut, dar în același timp totul este posibil. Ființa care ar putea să manipuleze un sistem dinamic are libertatea de a imagina pentru acest sistem orice fel de stare; din moment ce această stare este compatibilă cu definiția dinamică a sistemului, este posibil să se calculeze o stare inițială în așa fel încît sistemul să ajungă

„spontan" la starea aleasă și în momentul ales. Generalității legilor dinamice îi răspunde arbitrarul condițiilor inițiale și deci arbitrarul evoluțiilor particulare.

Cît despre *reversibilitatea* traiectoriei dinamice, aceasta a fost implicit afirmată de către toți fondatorii dinamicii și, între alții, de către Galilei și Huygens. De fiecare dată cînd voiau să scoată în evidență relația de echivalență între cauză și efect, pe care înțelegeau să-și întemeieze descrierea matematică a mișcării, ei evocau o operație imaginară, excelent ilustrată printr-o minge perfect elastică care sare pe sol; ei imaginau inversiunea instantanee a vitezei mobilului studiat și descriau revenirea la poziția inițială cu restaurarea simultană a ceea ce produsese mișcarea accelerată între momentul inițial și momentul inversiunii. Mingea, de exemplu, revine la altitudinea ei inițială.

Dinamica consideră reversibilitatea ca o proprietate a oricărei evoluții dinamice. Vechea experiență imaginară însemna, de fapt, punerea în scenă a unei proprietăți matematice generale a ecuațiilor dinamice: structura acestor ecuații implică ideea că dacă vitezele tuturor punctelor unui sistem s-au inversat instantaneu, totul se petrece ca și cum sistemul „s-ar reîntoarce în timp". Într-adevăr, el parcurge în sens invers toate stările anterioare prin care a trecut în evoluția sa. Dinamica definește ca *echivalente matematic* transformările $t \to t$ adică inversiunea sensului scurgerii timpului, și $v \to v$ inversiunea vitezelor. Ceea ce a înfăptuit o evoluție dinamică, o altă evoluție, definită prin răsturnarea vitezelor, poate să desfacă, restaurînd o situație identică situației inițiale.

Această ultimă proprietate de reversibilitate a dinamicii duce la o dificultate al cărei caracter fundamental se va impune numai odată cu mecanica cuantică. Orice intervenție, manipulare, măsurare, este ireversibilă prin esență. Știința *activă* se găsește astfel, prin definiție, străină de lumea reversibilă pe care o descrie, oricare ar fi de alt-

fel gradul de plauzibilitate intrinsecă a unei asemenea descrieri. Dar și din acest punct de vedere reversibilitatea poate fi luată ca un simbol al ciudățeniei lumii descrise de dinamică. Cunoaștem cu toții impresia de absurd ce o provoacă filmele proiectate invers, spectacolul unui chibrit pe care flacăra îl reconstituie. călimări sfărîmate, care se îngrămădesc și se refac pe o masă după ce s-a concentrat acolo cerneala, ramuri care întineresc redevenind muguri. Lumea dinamică descrie ca posibile asemenea evoluții, la fel ca și inversul lor ce ne este cunoscut.

2. Mișcare și devenire

Se știe că pentru Aristotel timpul era măsura schimbării. Dar Aristotel recunoscuse multiplicitatea calitativă a schimbărilor din natură. La fel pentru dinamică timpul este măsura schimbării: este parametrul în limita căruia legea își desfășoară efectele, își desfășoară succesiunea infinită a stărilor dinamice. Timpul însă — măsură a dinamicii — nu este un timp general, comun ansamblului de evoluții calitativ diferite, fiecare dintre ele posedînd propria sa rațiune și ritmul său propriu; timpul dinamic constituie nu numai o măsură a devenirii ci devenirea dinamică însăși la care revine, în principiu, ansamblul proceselor naturale. Diversitatea calitativă a schimbărilor este redusă la scurgerea omogenă și eternă a unui timp unic, *măsură* dar și *rațiune* a oricărui proces. Cum să înțelegem această nouă concepție despre devenirea naturală?

Este interesant de a introduce această problemă comparînd devenirea dinamică cu concepția atomistă despre schimbare, foarte puternică în epoca în care Newton își formula legile. Se pare, de fapt, că nu numai Descartes, Gassendi și d'Alembert dar chiar Newton însuși, considerau că ciocnirile între atomii rigizi constituiau un izvor ultim,

dacă nu singurul, de schimbare a mișcării [56]. Totuși, descrierea dinamică la întemeierea căreia au contribuit toți acești savanți la care ne-am referit, se opune aproape punct cu punct descrierii care decurge din ipoteza atomistă.

Caracterului continuu al accelerației descrisă de ecuațiile dinamice i se opune aspectul discontinuu, ciocnirea instantanee între particule rigide despre care încă Newton la vremea sa și-a dat seama că, în contradicție cu dinamica, acesta antrenează o pierdere de mișcare ireversibilă. Singura ciocnire reversibilă, adică singura care este în acord cu legile dinamicii, este ciocnirea elastică. Cum se poate atribui însă complexa proprietate de elasticitate tocmai atomilor din care vrem să facem elementele primare ale naturii?

Pe de altă parte, și pe un plan mai puțin tehnic, legii generale a mișcării dinamice i se opune caracterul aleatoriu atribuit în general ciocnirilor între atomi. Filozofii antichității au subliniat în acea vreme că fiecare proces natural, interpretat în termeni de mișcare și de ciocniri de atomi în vid, poate face obiectul unor explicații multiple, toate fiind plauzibile și totodată diferite. Ceea ce are puțină importanță pentru filozoful atomist, deoarece scopul acestuia este înainte de toate de a dovedi suficiența acestui tip de explicație, zădărnicia recurgerii la supranatural și des-

---

[56] Referitor la acest punct, a se vedea Hankins T., „The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century", în *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, vol. 20, 1967, p. 42—65; Cohen B. I., „Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia", în *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton, Tricentennial Celebration, The Texas Quaterly*, vol. X, nr. 3, 1967, p. 125—157.

Cele patru paragrafe care urmează se inspiră, în ceea ce privește problema atomismului și a conservării, din Scott W.L. *The Conflict between Atomism and Conservation Theory*, Londra, Mac Donald, 1970.

crierea unei lumi fără dumnezeu și fără rugăciuni, o lume în care omul este liber și nu trebuie să aștepte nici un fel de pedeapsă sau de recompensă de ordin divin sau natural. Care este însă raportul între lumea muritoare, această lume instabilă unde, fără încetare, atomii se unesc și se despart, ființele se nasc și mor, și, pe de altă parte, lumea imuabilă a dinamicii cîrmuită de o formulă matematică unică, adevăr etern ce se desfășoară într-o devenire tautologică? Știința modernă, o știință a inginerilor și a astronomilor, este o știință de intervenție și de previziune care nu se poate mulțumi cu convingerea generală că totul este explicabil prin atomi. Posibilitatea concretă de previziune și de manipulare o constituie legea matematică. Natura va respecta legile, va fi supusă și previzibilă și nu haotică, dezordonată, stocastică.

Vom regăsi în secolul al XX-lea contrastul între determinismul legic și evenimentul aleatoriu care, după cum susține Koyré, îl frămîntase pe Descartes [57]. Într-adevăr, începînd de la finele veacului al XIX-lea, odată cu teoria cinetică a gazelor, haosul atomilor a reintegrat știința fizicii; s-a constatat că comportarea haotică a unei populații numeroase, ca aceea a moleculelor unui gaz reprezintă prin excelență o comportare previzibilă. Din acel moment, problema raportului dintre legea dinamică și descrierea statistică, s-a instalat chiar în inima fizicii, constituind cheia reînnoirii actuale a dinamicii (a se vedea cartea a III-a).

Cu toate acestea, în secolul al XVIII-lea înfruntarea părea fără ieșire, ceea ce, în parte, explică scepticismul majorității fizicienilor *acelei epoci* referitor la importanța efectivă a descrierii dinamice. Într-adevăr, fizicienii de atunci știau că descrierea dinamică infinitesimală lăsa în umbră

---

[57] Koyré A., *Études galiléennes*, p. 127—136.

procesul de ciocnire care reprezenta pentru ei singura sursă inteligibilă a schimbării mișcării. Ei știau că în natură, de îndată ce există ciocnire, frecare, contact brusc între corpuri cu viteze diferite, are loc o pierdere de mișcare, și din aceasta ei trăgeau concluzia că în aceste cazuri ne-ideale, energia nu se conservă (a se vedea de asemenea cap. IV, 3). Atomiștii, ca și inginerii preocupați de randament, nu puteau să vadă în dinamică altceva decît o idealizare, un model parțial, exprimat într-un limbaj coerent. Fizicienii de pe Continent au rezistat astfel multă vreme seducției oferite de teoriile lui Newton. După cum putem remarca, victoria acestei doctrine în Franța coincide, și nu întîmplător, cu separarea profesională între fizicieni și ingineri, favorizați de instituțiile academice post-revoluționare.

Unde putem regăsi însă rădăcinile sintezei newtoniene și ale concepției sale despre schimbare? Sinteza [58] între știința mașinilor ideale, în care mișcarea se comunică între piesele ce se află deja în contact, fără ciocniri sau frecări, și știința aștrilor care interacționează la distanță; această concepție s-a realizat, de fapt, *împotriva* atomismului, știința hazardului și a ciocnirilor. Trebuie să dăm dreptate acelora care consideră că dinamica newtoniană reprezintă o noutate reală, o ruptură radicală în istoria gîndirii numai pentru faptul că atribuie interacțiunilor de la distanță responsabilitatea exclusivă a tuturor proceselor naturale? Istoria pozitivistă a științei ne-a făcut permanent să credem acest lucru relatîndu-ne în ce mod Newton, pornind de la studiul matematic al mișcării planetare și de la legile căderii corpurilor a avut curajul să inducă acțiunea unei „forțe" ce permitea să se dea o formulare comună

---

[58] În lucrarea sa despre istoria mecanicii *(Die Mechanik in ihrer Entwicklung)*, Mach a insiatat în mod deosebit asupra dublei filiații a dinamicii moderne: știință a traiectoriilor și știință a bilanțurilor.

unor fenomene inițial disparate. Adevărul istoric apare totuși mai puțin conform cu normele pozitiviste. Acest adevăr a fost aproape complet ignorat de contemporanii lui Newton, pe care i-ar fi scandalizat.

Ce ar fi spus oare pe Continent, cei care au primit cu suspiciune, dacă nu chiar cu indignare, această „forță" ciudat de asemănătoare cu noțiunile de calități oculte, preferințe și atracții din fizica veche, ce ar fi spus apărătorii raționalismului și ai rigorii mecaniciste dacă ar fi cunoscut strania poveste a forței newtoniene? Căci îndărătul declarațiilor prudente ale lui Newton (nu făurise ipoteze referitoare la natura forțelor) se ascundea pasiunea unui alchimist [59]. Timp de treizeci de ani, paralel cu studiile sale matematice, Newton studiase vechile scrieri alchimiste și, în studii de laborator, minuțioase și perseverente, explorase posibilitatea de a realiza mărețul vis, sinteza aurului.

Sinteza newtoniană, unificarea cerului și a pământului, a fost nu opera unui astronom ci a unui chimist. Ceea ce a inspirat forța newtoniană,

---

[59] Acest lucru îl susțin în orice caz istoricii contemporani care au început să studieze impresionanta masă de „documente alchimiste" ale lui Newton, pînă acum ignorate sau disprețuite ca „neștiințifice". Lordul Keynes, care a jucat un rol hotărîtor în colectarea acestor materiale, descrie tulburarea pe care a provocat-o descoperirea lor: „Newton nu a fost cel dintîi om de știință din Epoca Rațiunii. El a fost ultimul dintre magicieni, ultimul dintre babilonieni și dintre sumerieni, ultimul mare spirit care a privit lumea vizibilă și lumea spirituală cu aceiași ochi ca și vechii învățați care au început să făurească acum aproape zece mii de ani, moștenirea noastră intelectuală"; citat în Dobbs B., *The Foundations of Newton's Alchemy*, Cambridge, University Press, 1975, p. 13; Westfall R. S., „Newton and the Hermetic Tradition", în *Science, Medicine and Society*, Ed. Dobus, A. G. Londra, Heinemann, 1972; și Westfall R. S., „The Role of Alchemy in Newton's Career" în *Reason, Experiment and Misticism*, Ed. Righini Bonelli M. L. și Shea W. R., Londra, Mac Millan, 1975.

forță care însuflețește materia inertă și constituie în sensul cel mai puternic activitatea naturii, pare să fi fost acele forțe pe care Newton, chimistul, le-a observat acționînd între corpuri; forțe de atracție, forțe de repulsie care reglează „viața socială" a materiei și determină fiecare corp să formeze cu altele, cupluri stabile, să provoace dizolvarea compușilor prin repulsie, să servească de mediatori ce permit apropierea și cuplarea altor corpuri [60].

Fără îndoială, studiul traiectoriilor cerești a jucat un rol hotărîtor. Se pare că la origine, în jurul anului 1679, Newton nutrea doar speranța de a descoperi în aceste traiectorii acțiunea unor noi forțe de atracție, *analoge* forțelor chimice, mai simplu de studiat pe cale matematică. După vreo șase ani, studiul acesta matematic s-a încheiat printr-o concluzie neașteptată: între forțele care unesc planetele și acelea care accelerează căderea pietrelor nu există numai similitudine, ci există identitate; atracția nu este specifică fiecărei planete, ci este aceeași, fie că este vorba de Lună în jurul Terrei, fie că este vorba de planete și chiar de cometele care traversează sistemul solar. Newton căuta în cer forțe analoage cu forțele chimice, cu afinitățile care constituie proprietăți specifice, diferite pentru fiecare compus chimic, conferind astfel, fiecăruia, o activitate calitativ diferențiată; el a descoperit o lege universală, afirmînd de aici înainte validitatea ei pentru toate fenomenele, chimice, mecanice, cerești. Așadar sinteza newtoniană nu reprezintă o ruptură, ci o *surpriză*. Este vorba de o descoperire neașteptată, răscolitoare, pe care cultura o comemorează făcînd din Newton simbolul însuși al științei moderne. Această știință presupunea

[60] Dobbs (*op. cit.*, p. 204–210) studiază rolul „mediatorului" acestui „al treilea corp" care permite celorlalte două să devină sociabile. În legătură cu aceasta, amintim importanța personajului mediatorului din *Afinitățile elective* ale lui Goethe, care era destul de aproape de Newton în ce privește chimia.

existența unei ordini universale, presupunea că printr-o metodă laborioasă de măsurare și manipulare s-ar putea descoperi adevărul lumii. Și iată, într-adevăr, că natura îngăduie să fie descifrată, iată că ea răspunde celui care o interoghează, și încă mult dincolo de speranțele acestuia.

Multă vreme această prolixitate subită a naturii, triumful acestui „Moise" englez a constituit un fel de scandal intelectual pentru raționaliștii de pe Continent. Opera lui Newton a fost asimilată cu o descoperire pur empirică și nimeni nu ar fi fost mirat, dacă, tot pe cale empirică, ar fi fost respinsă. Astfel, în 1747, Euler, Clairaut și d'Alembert, fără nici o îndoială cei mai mari oameni de știință ai epocii, ajung la aceeași concluzie: Newton s-a înșelat; pentru a descrie mișcarea Lunii trebuie căutată o formulă matematică mai complexă pentru forța de atracție, o formulă care să reprezinte suma a doi termeni. Din acel moment și timp de doi ani, fiecare consideră că, în cele din urmă, natura l-a dezavuat pe Newton; și această încredere în greșeala lui Newton este permanent izvor de excitație dar nu de confuzie. Foarte departe de gîndul de a identifica descoperirea lui Newton cu însăși știința fizicii, fizicienii se gîndesc fără nici un fel de regret să renunțe la descoperirea newtoniană. D'Alembert merge atît de departe încît exprimă chiar anumite scrupule, în căutarea de noi probe împotriva lui Newton, și „a-i da lovitura de grație" [61].

Un singur om de știință a avut îndrăzneala de a se ridica împotriva verdictului fizicienilor și de a protesta împotriva ușurinței cu care aceștia propuneau să se abandoneze caracterul universal

---

[61] Istoricul „erorii" lui Newton a fost relatat de Hankins (*Jean d'Alembert; Science and Enlightment*, p. 29—33).

al forței de gravitație; acest newtonian convins a fost Buffon care scria în 1748: „În fizică o lege nu este lege decît prin aceea că verificarea ei este simplă și scara pe care o reprezintă este nu numai mereu aceeași, dar, mai mult, este unică ... Domnul Clairaut a propus o obiecție împotriva sistemului lui Newton dar nu este decît cel mult o obiecție care nu trebuie și nici nu poate să devină un principiu, trebuie să încercăm rezolvarea ei și nu să facem din ea o teorie ale cărei consecințe nu se sprijină decît pe un calcul; căci, precum spuneam, cu un calcul putem să reprezentăm totul și să nu realizăm nimic; și dacă ne permitem să adăugăm unul sau mai mulți termeni unei legi fizice, ca aceea a atracției, în loc să reprezentăm realitatea, nu obținem decît arbitrarul“ [62].

Ulterior Buffon a proclamat ceea ce va deveni curînd dar pentru scurtă vreme, programul de cercetare în chimie: „legile afinității, prin care părțile constitutive ale diferitelor substanțe se separă de celelalte pentru a se reuni între ele formînd substanțe omogene, sînt aceleași cu legea generală prin care toate corpurile cerești acționează unele asupra altora; ele se exercită de asemenea și în aceleași raporturi de mase și distanțe; o picătură de apă, de nisip sau de metal, acționează asupra altei picături la fel ca globul pămîntesc asupra Lunii; și dacă pînă astăzi am privit legile afinității ca fiind diferite de legea gravitației, aceasta se explică prin faptul că ele nu au fost bine concepute, bine sesizate, iar obiectul nu a fost cuprins în toată întinderea sa. Forma exterioară, care la corpurile cerești nu are nici o importanță sau aproape nici una în legătură cu legea acțiunii corpurilor unele asupra altora, distanța fiind foarte mare, dimpotrivă, cînd distanța

---

[62] Buffon G. L., *Réflexions sur la loi d'attraction*, apendice la *Introduction à l'histoire des minéraux* publicată în 1774, vol. IX din *Oeuvres complètes*, Paris, Garnier Frères, p. 75 și 77.

este foarte mică sau nulă, are un rol hotărîtor ... Nepoții noștri, cu ajutorul calculului, vor putea să ajungă la acest nou cîmp de cunoaștere [63], adică din forma corpurilor elementare vor putea deduce legea interacțiunii lor.

Istoria a dat dreptate naturalistului, pentru care forța nu era un simplu artificiu matematic ci fundamentul unei noi științe despre natură: fizicienii au trebuit să-și recunoască eroarea. Peste 50 de ani Laplace putea să elaboreze *Sistemul Lumii*; legea gravitației universale a rezistat în mod victorios, numeroasele cazuri care păreau că nu o confirmă s-au transformat în strălucite demonstrații în favoarea validității și a fecundității ei. Paralel cu aceasta, în special sub influența lui Buffon, chimiștii francezi redescopereau analogia stranie între atracția fizică și afinitățile chimice [64]: în ciuda sarcasmelor unor învățați ca d'Alambert, Condillac, Condorcet, al căror raționalism riguros se împăca destul de greu cu aceste „analogii" obscure și sterile, ei parcurgeau în sens invers drumul făcut de Newton, adică de la aștrii la materie.

La începutul secolului al XIX-lea, programul newtonian, adică reducerea ansamblului fenomenelor fizico-chimice la acțiunea unor forțe (la

---

[63] Buffon G. L., *Histoire Naturelle. De la Nature, Seconde Vue*, 1765, citat în Metzger H., *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, Paris, Blanchard, 1974, p. 57—58.

[64] A. Thackray descrie orientarea unor chimiști francezi sub influența ideilor lui Buffon, în *Atoms and Power*, în *An Essay on Newtonian Matter Theory and the Development of Chemistry*, Cambridge Massachusets, Harvard University Press, 1970, p. 199—233. *La Statique Chimique* scrisă de Berthollet reprezintă realizarea programului trasat de Buffon în chimie, și încheierea sa; elevii lui Berthollet au abandonat ansamblul conceptelor prin care acesta din urmă făcuse din procesul reacției chimice o transformare compatibilă cu exigențele științei forțelor și a traiectoriilor și, în special, ideea că asocierea chimică în proporții definite constituie nu regula ci un caz cu totul particular. Într-adevăr, cum ar fi putut să explice forțele newtoniene faptul că doi atomi se pot asocia fără ca un al treilea, și el atras de aceste forțe, să poată lua cît de cît parte la această asociere?

atracția gravitațională unii au adăugat forța de respingere a căldurii care dilată corpurile și facilitează dizolvarea, precum și forțele electrice și magnetice), a devenit programul oficial al celui mai puternic și mai prestigios grup științific; școala lui Laplace, care domină lumea științifică în momentul cînd Imperiul domină Europa [65].

La începutul secolului al XIX-lea se creează marile școli franceze și se reorganizează Universitatea. Este momentul în care oamenii de știință devin cadre de învățămînt și cercetători profesioniști, cărora li se încredințează sistematic opera de formare a succesorilor lor [66]. Cunoștințele științifice tind spre o sinteză, tind să se unifice în manuale și scrieri de popularizare. Știința nu se mai discută în saloane, ea este predată în școli sau se difuzează; ea nu mai este obiectul unor critici, nici nu este supusă unor interese mondene [67], ea este obiect de consens; acest consens, după cum am văzut în capitolul precedent, a fost

---

[65] Nu este vorba de a explica aici nici triumful newtonismului în Franța, nici căderea sa, ci de a sublinia cîteva puncte, și mai întîi cel puțin corelația cronologică dintre aceste evenimente și diferitele etape din profesionalizarea științei în Franța. În acest sens se poate vedea Crosland M., *The Society of Arcueil, a View of French Science at the Time of Napoleon*, Londra, Heinemann, 1960, precum și biografia lui Gay Lussac, la Cambridge University Press, 1978.

[66] Se știe că Thomas Kuhn a făcut din funcția instituțiilor științifice moderne de formare a viitorilor cercetători, adică din acea funcție care le asigură propria lor reproducție, o caracteristică fundamentală a activității științifice așa cum o cunoaștem începînd cu secolul al XIX-lea. Aceste probleme au început să fie studiate de către istoricii științei; vezi în special studiile lui Crosland M., Hahn R., și Farrar W. în *The Emergence of Science in Western Europe*, ed. Crosland M., Londra, Mac Millan, 1975.

[67] Gaston Bachelard acordă o mare importanță acestei izolări a „corpului științific" în care vede un rol hotărîtor pentru progres. Am putea chiar să avansăm ideea că întreaga sa operă se axează pe această realizare instituțională și consecințele ei în ordonarea cunoașterii, de la știința mondenă *(La Formation de l'esprit scientifique)* pînă la „cetatea științifică" *(Le Rationalisme appliqué)*. Dincolo de dimensiu-

mai întîi newtonian. Am putea spune că Buffon a realizat un adevărat triumf asupra epocii iluministe.

Un veac după apoteoza lui Newton în Anglia versurile pompoase scrise de fiul lui Ampère răsună ca un ecou al celor de odinioară din epitaful lui Pope [68].

> Vestind venirea acelui Hrist al ştiinţei,
> Kepler dezvăluise ale altarului taine;
> Atunci, din înţeleptul zeu ce-l adora Platon,
> Cuvîntul a luat trup şi s-a numit Newton.
> Veni şi revelă acel suprem principiu,
> Constant, universal ca însuşi Dumnezeu.
> Tăcute, lumile aşteptau cînd el rosti: Atracţie
> Şi acest cuvînt era cuvîntul însuşi al creaţiei.

Pentru o scurtă vreme, care va lăsa însă oamenilor de ştiinţă o puternică nostalgie, ştiinţa a reuşit să triumfe, recunoscută şi slăvită de un Stat puternic, ca deţinătoare a unei concepţii globale şi coerente asupra lumii. Venerat de către Laplace, Newton a devenit simbolul, expresia însăşi a adevărului acestei ştiinţe în epoca ei de aur, în fericitul moment în care oamenii de ştiinţă au fost identificaţi şi s-au recunoscut ei înşişi ca participanţi la o acţiune colectivă întreţinută şi încurajată de societate şi întemeiată pe o fertilă unanimitate teoretică.

Programul lui Laplace a murit odată cu Imperiul, depăşit de descoperirea a numeroase fenomene pe care a fost incapabil să le asimileze. Este suficient acest lucru pentru a spune că mecanicismul a murit, că lumea newtoniană a fost abandonată? Bineînţeles, a murit un anumit mecanicism naiv — după cum murise deja odată cu înlocuirea conceptelor geometrice prin concep-

---

nile prea uşor ridiculizabile ale discuţiilor de salon, deschiderea produsă de ştiinţă în secolul al XVIII-lea, multiplicitatea cercurilor academice, practica neprofesionistă a unei activităţi de cercetare curioasă şi critică, ar putea să ne fie totuşi o sursă de inspiraţie foarte necesară în ziua de astăzi.

[68] Citat în Schlanger J., Les Métaphores de l'organisme, Paris, Vrin, 1971, p. 108.

tele infinitesimale și cu introducerea forțelor ce acționează de la distanță. În acest sens mecanicismul nu a încetat nici o clipă să moară, la fiecare răsturnare a științelor fizice; ceea ce înseamnă că le-a supraviețuit tuturor, spectru ce renaște neîncetat, și fără încetare alungat.

Ce semnificație are astăzi sinteza newtoniană, după elaborarea teoriei cîmpului, a relativității, a mecanicii cuantice? Este o problemă complexă la care vom reveni. Știm astăzi că natura nu este întotdeauna conformă cu ea însăși. În domeniul microscopicului, legile mecanicii cuantice le-au înlocuit pe acelea ale mecanicii clasice. La fel, la scara Universului, fizica relativistă ia locul lăsat de fizica newtoniană. Și totuși, aceasta rămîne, prin excelență, reperul permanent valabil la scara noastră. Se poate spune chiar că în sensul în care am definit-o, descrierea traiectoriilor deterministe, reversibile, statice, dinamica newtoniană formează centrul fizicii. Mai mult, ea a constituit terenul de predilecție al celor mai mari matematicieni și fizicieni (printre care Hamilton, Poincaré). Astfel, sinteza newtoniană s-a transformat într-un limbaj formalizat, coerent și abstract și ca atare vom descrie și vom explica acum concepția schimbării pe care o presupune.

3. Limbajul dinamicii

Formalizarea dinamicii răspunde mai întîi următoarei nevoi: de a descoperi acel ansamblu „bun" de variabile care să definească sistemul de o asemenea manieră, încît descrierea să fie cea mai simplă și mai economică, astfel încît principiile dinamicii și îndeosebi *principiul conservării energiei* să poată apărea cu o deplină claritate.

Principiul conservării energiei, al conservării sumei energiilor potențiale și cinetice, constituie traducerea sub formă de regulă sintaxică a limbajului dinamic, a ceea ce în mod evident a stat la baza științei moderne despre mașinile simple (a se vedea cap. 1, 4): într-o lume idealizată, fără cioc-

niri sau frecări, randamentul mașinilor este egal cu unu, dispozitivul realizat de o mașină se mărginește să transmită integral cantitatea de mișcare pe care o primește. Mașina căreia i s-a conferit o anumită cantitate de energie potențială (greutate crescută, aer comprimat, resort încordat etc.) produce o mișcare corespunzătoare cu o cantitate egală de energie cinetică. La rîndul său, aceasta este exact suficientă pentru a restitui mașinii energia potențială utilizată în producerea mișcării.

Cazul cel mai simplu este acela în care singura forță ce trebuie luată în considerare este forța gravitației, ceea ce este cazul pentru mașinile simple (scripete, pîrghii etc.). În acest caz este ușor de stabilit o relație globală de echivalență între cauză și efect; numai înălțimea h de la care a coborît corpul într-un timp dat, determină viteza dobîndită în cursul acestei coborîri. Dacă căderea corpului cu masa m este verticală, dacă urmează un plan înclinat sau un parcurs cu denivelări, în toate cazurile viteza (v) pe care o dobîndește și energia cinetică $(mv^2/2)$ nu depind decît de diferența de nivel, h, parcursă $(v = \sqrt{2gh})$ și permite corpului să revină la altitudinea inițială (de data aceasta pe orice cale); lucrul mecanic împotriva forței gravitaționale pe care îl implică o asemenea urcare, restituie sistemului energia potențială, mgh, pe care o pierduse în căderea sa. Să ne gîndim de asemenea la mișcarea pendulară în cursul căreia energiile cinetică și potențială se epuizează rînd pe rînd, și ating rînd pe rînd valori maximale.

Bineînțeles, cînd este vorba nu de un corp care cade spre Pămînt, ci de un sistem de corpuri în interacțiune, echivalența reversibilă între cauza producătoare și efectul produs este mult mai greu de imaginat; în fiecare clipă variază distanțele dintre masele sistemului și, prin urmare, forțele de interacțiune dintre aceste mase și deci accelerația fiecărui punct din sistem. Accelerația în fiecare punct, ca și variația de energie potențială antrenată de această accelerație, sînt în fiecare

moment funcție de *starea globală a sistemului*. Traiectoria urmată de fiecare punct reflectă și exprimă dintr-un punct de vedere local evoluția globală a sistemului, și, prin urmare, la nivelul global poate fi stabilită echivalența reversibilă între cauză și efect. În fiecare moment, variația globală de energie cinetică, ca urmare a accelerațiilor suferite de fiecare punct al sistemului, compensează exact variația energiei potențiale determinate de ansamblul variațiilor distanțelor dintre punctele sistemului. Din aceasta se deduce principiul dinamic fundamental: evoluția dinamică a unui sistem izolat conservă energia acestui sistem.

Energia potențială (sau „potențialul", simbolizat în mod tradițional prin V), care depinde de pozițiile relative ale punctelor materiale, constituie o generalizare a mărimii care permitea mecanicienilor să măsoare mișcarea pe care putea să o producă o mașină în urma unei transformări impuse configurației sale spațiale (de exemplu o schimbare de altitudine a unei mase m aparținînd mașinii îi conferă acesteia o energie mgh). Dar energia potențială nu permite inginerilor să întocmească doar bilanțuri energetice. Ea permite de asemenea să se descrie în fiecare moment ansamblul forțelor aplicate diferitelor puncte din sistem; în fiecare punct, derivata potențialului în raport cu o coordonată spațială q măsoară forța aplicată în acest punct în direcția acestei coordonate. Din acel moment, legile newtoniene ale mișcării pot să fie formulate adoptîndu-se ca mărime centrală nu forța ci funcția potențială: în fiecare moment variația vitezei unei mase punctuale (sau a momentului p, produsul masei cu viteza) este măsurată de derivata potențialului în raport cu coordonata q a acestei mase.

În secolul al XIX-lea descrierea dinamică avea să fie generalizată în special prin introducerea unei noi funcții, funcția lui Hamilton H care este suma energiilor potențială și cinetică a sistemului, exprimată însă în funcție de ceea ce se numesc „variabile canonice". Ecuațiile dina-

mice care pun o problemă în spațiul „intuitiv" în funcție de poziții și de derivatele în raport cu timpul ale pozițiilor, au aceeași diversitate ca și aceste probleme; în timp ce ecuațiile *canonice* permit să se depășească această particularitate și să se formuleze toate problemele dinamice sub o formă identică. Poziția canonică a problemei dinamice este foarte abstractă: ea nu mai implică ca de la început să avem de-a face cu poziții și viteze derivate din aceste poziții. Variabilele canonice q și p (numite prin analogie cu poziția q și momentul $p = m\,dq/dt$, coordonate de poziție și de moment) sînt definite ca mărimi *independente una de cealaltă*. Momentul canonic nu mai poate fi calculat pornind de la poziție, însă evoluția poziției *și* momentului în timp — și deci traiectoria punctelor materiale în spațiul măsurat prin aceste variabile — sînt deductibile din Hamiltonian care, sub forma sa canonică, conține, astfel, adevărul dinamic al sistemului. Desigur, în cazurile simple (pendul, resort, ghiulea de tun) variabilele canonice sînt variabile uzuale, dar de acum înainte nu mai este decît o problemă de oportunitate, nu o obligație. Așadar, hamiltonianul $H(p, q)$ constituie mărimea fundamentală din care se poate deduce descrierea și evoluția sistemului. A pune o problemă dinamică în cadrul formalismului hamiltonian, înseamnă a alege mai întîi cea mai bună reprezentare canonică a sistemului, a alege variabilele canonice p, q în așa fel, încît Hamiltonianul exprimat în funcție de aceste variabile să aibă structura cea mai potrivită pentru rezolvarea problemei, pentru integrarea ecuațiilor. Există un număr infinit de reprezentări ale unui sistem dinamic dat, fiecare din ele putînd constitui mult mai mult decît o simplă transformare geometrică a reprezentării „intuitive" a sistemului: variabilele canonice pot fi în același timp funcții foarte complexe de pozițiile și vitezele „intuitive". Esențial este însă că toate reprezentările canonice sînt echivalente, fiecare punct de vedere canonic asupra sistemului deține ade-

vărul complet al acestui sistem. De îndată ce se cunoaște Hamiltonianul exprimat în funcție de variabile alese, pentru fiecare punct, se poate calcula derivata acestei funcții în raport cu variabila de poziție și variabila de moment, $H(p,q)/\partial q$ și $H(p,q)/\partial p$ [69]. Aceste derivate au un sens fizic. Prima dă variația în cursul timpului a momentului p, dp/dt și a doua dă variația în cursul timpului a poziției q, dq/dt. Hamiltonianul constituie așadar legea mișcării sistemului cercetat; oricare ar fi reprezentarea aleasă, evoluția în timp a variabilelor canonice corespunzătoare poate fi dedusă din Hamiltonian prin *aceleași* ecuații canonice.

Ecuațiile canonice constituie fără îndoială una din cele mai remarcabile realizări din istoria științei. Importanța și rolul lor într-adevăr nu s-au limitat la dinamică. Ele joacă un rol fundamental îndeosebi în mecanica „statistică", aplicabilă unor sisteme formate dintr-un mare număr de particule în interacțiune, sau în mecanica cuantică, aplicabilă moleculelor și atomilor. Este adevărat că în acest caz semnificația ecuațiilor lui Hamilton este generalizată, abstractă. După cum vom vedea, în mecanica cuantică Hamiltonianul ca funcție a coordonatelor și momentelor este înlocuit printr-o cantitate de un fel nou, un *operator*. Cu toate acestea, ecuațiile hamiltoniene persistă; ele constituie ceea ce am putea denumi limbajul etern al dinamicii și fac parte în mod definitiv din știința noastră.

Am spus mai înainte că Hamiltonianul este suma energiilor cinetice și potențiale exprimate în termeni de variabile canonice alese pentru a descrie sistemul.

În timp ce definirea Hamiltonianului dă fiecărei probleme conținutul său fizic particular, structura ecuațiilor canonice conține proprietățile apriorice ale întregii evoluții dinamice. Ecua-

---

[69] ∂ arată că este vorba de derivate *parțiale*. H este în același timp funcție de p și de q, dar este derivat numai în raport cu una din cele două variabile.

ţiile canonice sînt cu adevărat *reversibile*: inversiunea timpului este echivalentă din punct de vedere matematic cu inversiunea vitezelor. Ele sînt *conservative*: Hamiltonianul care exprimă energia sistemului în cuplul de variabile canonice alese este el însuşi conservat prin evoluţia pe care o determină în cursul timpului; în fiecare moment al acestei evoluţii, variaţia energiei potenţiale reprezintă o compensare exactă a energiei cinetice. Energia sistemului generează efectiv o evoluţie care o menţine pe aceasta invariantă.

Putem spune că limbajul abstract al dinamicii hamiltoniene duce concepţia dinamică despre mişcare spre adevăr. Acest limbaj tratează de fapt succesiunea stărilor ce se desfăşoară în cursul timpului ca o succesiune de puncte de vedere echivalente unele cu celelalte (adică alegeri de perechi de variabile q, p, echivalente) asupra adevărului invariant al sistemului reprezentat de Hamiltonian. Este remarcabil faptul că, din punct de vedere hamiltonian, este indiferent dacă considerăm că evoluţia dinamică descrie transformarea unui sistem, pornind de la un punct de vedere dat, sau că descrie modificarea adusă descrierii unui sistem invariant atunci cînd punctul de vedere, şi deci definiţia variabilelor canonice se schimbă neîncetat.

Am arătat că toate reprezentările unui acelaşi sistem sînt echivalente; ele sînt legate între ele prin transformări canonice (transformări unitare în mecanica cuantică) care conservă forma hamiltoniană a ecuaţiilor mişcării. Vom pune mai tîrziu problema caracterului suficient al acestor transformări şi vom vedea că natura nu este epuizată de punctele de vedere pe care le generează (a se vedea cap. IX, 5). Să ne întrebăm acum, cum să alegem cuplul de variabile canonice, adică acel punct de vedere asupra sistemului, care să ne permită o descriere optimă a evoluţiei.

În exemplele tipice din dinamica clasică este greu de evitat alegerea variabilelor dinamice de poziţie şi de viteză care permit într-adevăr o des-

criere foarte simplă. În problemele mai complexe, alegerea cere mai multă subtilitate. Este vorba de a găsi sistemul de ecuații diferențiale cel mai ușor de integrat. Astfel, ceea ce contează este structura Hamiltonianului care prin derivare dă variația lui p și q. Or, noi putem imagina o structură particulară care ar permite o integrare foarte ușoară. Ar fi suficient să găsim asemenea variabile canonice, încît Hamiltonianul să fie redus la termenul de energie cinetică, care nu depinde decît de momente, adică să găsim acele variabile canonice încît termenul de energie potențială, care nu depinde decît de coordonatele de poziție, să se anuleze. În acest caz, într-adevăr, momentele, a căror evoluție este dată de derivata Hamiltonianului în raport cu coordonatele de poziție, nu ar mai fi decît *invarianți* ai mișcării $[\partial H(p)/\partial q = 0]$. Cît despre poziții, integrarea ecuației lor de evoluție nu ar mai oferi nici o dificultate: am avea de a face cu un fel de mișcare pseudo-inerțială, în care fiecare punct al sistemului evoluează independent de toate celelalte *(fig. 1)*.

Or, această reprezentare singulară care formal suprimă orice interacțiune între unitățile sistemului *definește pentru noi conceptul de integrabilitate.* Orice sistem descris în termeni de ecuații diferențiale integrabile poate fi reprezentat ca un ansamblu de unități, fiecare dintre ele evoluînd în mod izolat, independent de toate celelalte, în această mișcare veșnică și permanent egală cu ea însăși, pe care Aristotel o atribuise doar cor-

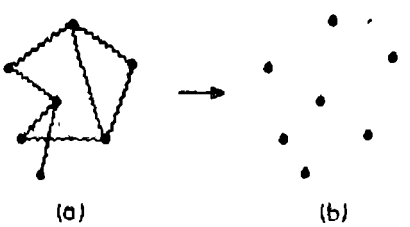

FIG. 1. Trecerea de la reprezentarea unui sistem dinamic ca ansamblu de puncte în interacțiune spre o reprezentare în care fiecare punct evoluează independent de celelalte (energia potențială anulată formal).

purilor divine. După cum remarca Maxwell [70], reluînd un cuvînt pe care Hegel îl luase de la „antici" [71], nu numai planetele, ci toate particulele, asemenea unor zeităţi preafericite, merg încotro vor, fiecare desfăşurînd pe cont propriu unica lege a bunului său plac.

Particularitatea unei asemenea definiţii constă în faptul că ea scoate la iveală chiar de la nivelul ecuaţiilor diferenţiale, nu numai energia ci ansamblul diferiţilor invarianţi ai mişcării dinamice, adică mărimi fizice care păstrează o valoare constantă de-a lungul întregii evoluţii şi sînt suficiente pentru a o determina în întregime. Faptul că orice sistem dinamic integrabil poate fi adus la acest tip de definiţie, demonstrează în mod evident caracterul static şi determinist al oricărei descrieri prin traiectorii dinamice: expresia „totul este dat" înseamnă aici că, de la primul moment valoarea diferiţilor invarianţi ai mişcării este dată, nimic nu se mai poate „întîmpla" sau nimic nu se poate petrece, nici o interacţiune nu poate perturba mişcarea pseudo-inerţială; de aici înainte nu numai sistemul, dar fiecare unitate constitutivă a acestui sistem repetă neîncetat, sub forme echivalente, o stare iniţială din care nu poate să uite cel mai mic amănunt.

S-a crezut multă vreme că sistemele integrabile puteau fi luate ca model de sistem dinamic. Dinamica îşi propunea să aplice aceeaşi metodă la orice problemă; ea putea găsi acea schimbare de variabile „bună" care elimina interacţiunile, şi devenirea dinamică se reducea în mod expli-

---

[70] Maxwell I. C., *Report on Tait's Lecture on Force*, în Campbell L. et Garnett W., *The Life of James Clerk Maxwell*, Londra, Mac Millan, 1882, p. 648.

[71] În *De Orbitis Planetarium* (Jena, 1801), Hegel scrie: *„Corpora autem coelestia glebae non adscripta et centrum gravitatis perfectius in se gerentia. Deorum more per levem aera incendant"*; aceeaşi idee este reluată în paragraful 269 din *Filozofia Naturii*; în această problemă am consultat traducerea engleză a *Filozofiei Naturii*, tradusă şi adnotată, cu introducere de Petry M. J., 3 vol., Londra, Allen and Unwin, 1970 (vol. 1, p. 262 şi 347).

cit la repetare. Un exemplu studiat deosebit de mult a fost celebra problemă cu trei corpuri, poate cea mai importantă problemă din istoria fizicii. Problema se pune pentru mișcarea Lunii, influențată în același timp de Pămînt și de Soare. Punerea acestei probleme într-o formă integrabilă a determinat nenumărate tentative pînă în momentul în care, la sfîrșitul secolului al XIX-lea, Bruns și Poincaré au demonstrat că lucrul era imposibil. A fost o surpriză și, după cum vom arăta, această surpriză prevedea sfîrșitul extrapolărilor pornind de la fizica mișcărilor simple, sfîrșitul convingerii că lumea dinamică este omogenă.

La aceeași epocă apar și alte indicații în același sens. Astfel, unii cercetători au constatat că o traiectorie poate deveni intrinsec nedeterminată în anumite puncte singulare. Un pendul rigid poate avea două tipuri de comportamente calitativ diferite: el poate fie să oscileze, fie să se rotească în jurul punctului său de suspensie. Dacă impulsul său inițial este suficient pentru a-l face să ajungă în poziție verticală cu o viteză nulă, direcția în care va cădea, și deci natura mișcării sale este nedeterminată: o perturbație infinitesimală este suficientă pentru a antrena fie o rotație, fie o oscilație. Este vorba de problema instabilității mișcării, asupra căreia vom reveni pe larg.

Este remarcabil să constatăm că, la vremea sa, Maxwell a subliniat importanța unor asemenea puncte singulare: „În toate cazurile de acest fel (Maxwell a făcut descrierea exploziei cu fulmicoton), există o circumstanță comună: sistemul posedă o cantitate de energie potențială care poate fi transformată în mișcare, dar mișcarea nu poate începe decît atunci cînd sistemul a atins o anumită configurație, ceea ce necesită o cheltuială de lucru mecanic care poate fi infinitesimală și în general nu poate fi comparată cu energia pe care o eliberează sistemul prin explo-

zie. Ca de pildă, stînca dezlipită prin îngheţ şi în echilibru pe un punct singular de pe creasta muntelui, scînteia cea mică care aprinde o imensă pădure, cuvîntul neînsemnat care aruncă lumea în război, un mic scrupul care-l împiedică pe om de a face ce vrea, un mic spor care alterează toţi cartofii, o mică gemulă care face din noi ori filozofi ori idioţi. Plecînd de la un anumit nivel, fiecare existenţă posedă punctele ei singulare: cu cît nivelul este mai ridicat, cu atît punctele sînt mai numeroase. În aceste puncte, anumite influenţe, a căror mărime fizică este prea mică pentru a fi luată în considerare de către o fiinţă finită, pot să producă rezultate de cea mai mare importanţă. Toate marile rezultate produse de acţiunile omeneşti depind de felul în care sînt folosite aceste stări singulare, atunci cînd apar [72]. Această concepţie a rămas fără ecou din lipsă de tehnici matematice adecvate pentru a identifica sistemele ce posedă asemenea puncte singulare şi din lipsa unor anumite cunoştinţe în chimie şi în biologie, care astăzi ne permit, după cum vom vedea mai departe, să înţelegem într-un mod mult mai precis rolul efectiv esenţial al acestor puncte singulare.

Oricum, începînd cu monadele lui Leibniz (a se vedea concluzia,4) şi pînă în zilele noastre, incluzînd de exemplu stările staţionare ale electronului din modelul lui Bohr (a se vedea cap. VIII), sistemul integrabil a rămas de fapt modelul prin excelenţă al sistemului dinamic, şi anumiţi fizicieni au încercat să extrapoleze pentru ansamblul de procese naturale proprietăţile a ceea ce de fapt nu constituie decît o clasă foarte particulară de Hamiltonieni. Acest lucru este de altfel uşor de înţeles: atunci cînd spunem „sistem dinamic" evident că ne gîndim la această clasă de sisteme dinamice, pentru că acestea au

---

[72] Maxwell J. C., *Science and Free Will*, în Campbell L. şi Garnett W., *op. cit.*, p. 443.

putut fi cel mai bine explorate pînă în ultimii ani. Trebuie să ținem seama de asemenea și de fascinația pe care o suscită întotdeauna un sistem închis, capabil de a pune toate problemele atîta timp cît nu le definește ca lipsite de sens. Dinamica reprezintă un asemenea limbaj, complet, prin definiție coextensiv lumii pe care o descrie. Pentru această știință, toate problemele, simple sau complexe, se aseamănă, deoarece ea poate în permanență să le pună sub aceeași formă generală. De unde tentația de a trage concluzia că, din punctul de vedere al rezolvării lor, toate problemele se aseamănă și că din faptul că procedeul de integrare este de o complexitate mai mare sau mai mică, nu poate să apară nimic nou. Știm acum că această omogenitate postulată este falsă. Vom relua mai departe problema. Dar noi, care știm astăzi că între sisteme dinamice pot apărea anumite diferențe calitative, noi putem cu atît mai mult să măsurăm consecințele culturale și epistemologice ale fascinației pe care a exercitat-o modelul sistemului integrabil. De la Leibniz și pînă în zilele noastre, regăsim această convingere: dacă Universul este un sistem dinamic, el trebuie să fie conceput cu proprietățile unui sistem dinamic integrabil.

4. Dinamica și demonul lui Laplace

Concepută după modelul sistemului integrabil, descrierea dinamică posedă un simbol: acel demon imaginat de către Laplace, capabil să observe, la un moment dat, poziția și viteza fiecărei mase constitutive din Univers și să deducă din aceasta evoluția universală atît spre trecut cît și spre viitor.

Bineînțeles nimeni nu s-a gîndit vreodată că un fizician ar putea să beneficieze de știința pe care o poseda demonul lui Laplace. Laplace însuși a recurs la această ficțiune pentru a scoate la iveală amploarea ignoranței noastre practice și

necesitatea de a da o descriere statistică unor anumite procese. Problema demonului lui Laplace nu este aceea a posibilității efective de a elabora o previziune deterministă despre curgerea lucrurilor, ci este problema posibilității de principiu, și această posibilitate de principiu a unei prestiințe totale este implicată în dualitatea legii dinamicii și a descrierii condițiilor inițiale.

Într-adevăr, faptul că se poate descrie un sistem dinamic ca fiind supus unei *legi* deterministe, chiar dacă ignoranța practică despre starea inițială exclude orice *previziune* deterministă, permite să distingem „adevărul obiectiv" al sistemului, așa cum este contemplat de demonul lui Laplace, de faptul empiric al ignoranței noastre. În aceste condiții ideea că definiția instantanee a unui sistem nu este suficientă pentru a-i determina evoluția, că determinismul fizic conține anumite limite, care nu sînt limitele capacităților noastre de observație și de calcul, această idee părea necesar să fie afirmată nu numai împotriva demonului lui Laplace, ci împotriva dinamicii. Cu toate că în cadrul dinamicii clasice, descrierea deterministă poate fi inaccesibilă în practică, aceasta nu împiedică însă profilarea ei ca *limită* care definește o serie de descrieri de precizie crescîndă.

După cum vom vedea, tocmai această dualitate lege—condiții inițiale, este pusă astăzi în discuție: astăzi este abandonată ideea că acel concept de stare inițială a unui sistem este permanent valabil, oricare ar fi legea dinamică a acestui sistem: este abandonată ideea că determinarea condițiilor inițiale este o operație ce se poate concepe teoretic pentru orice sistem dinamic. Vom reveni însă mai departe în legătură cu descoperirea, în sfîrșit, a acestei breșe în edificiul dinamicii clasice, și în legătură cu moartea demonului lui Laplace. Cît despre știința clasică, aceasta, din momentul în care a acceptat adevărul descrierii dinamice, *trebuia* să se pronunțe pentru determinismul universal, pentru caracterul iluzoriu al proceselor care constituie lumea pe

care o locuim, acea lume care ne-a produs și pe noi, ființe vii și cuvîntătoare.

Știința modernă s-a născut din ruptura unei alianțe animiste cu natura: în lumea aristotelică, omul părea să-și găsească locul atît ca ființă vie, cît și ca ființă ce cunoaște lumea; lumea era pe măsura lui, cunoașterea intelectuală atingea însuși principiul lucrurilor, cauza și rațiunea finală a devenirii lor, acel scop lăuntric care le populează și le organizează. Cît despre primul dialog experimental, acesta și-a tras o parte din justificarea sa socială și filozofică dintr-o altă alianță, de această dată cu Dumnezeul creator și rațional al creștinilor. În măsura în care dinamica a devenit și a rămas știința model, unele implicații ale acestei „alianțe", de altfel foarte curînd destrămată, au subsistat; și în primul rînd, nerecunoașterea acelei alianțe experimentale care se încheiase de fapt cu Natura.

Devenită laică, știința a rămas prevestirea profetică a unei lumi descrisă așa cum a fost contemplată, din punctul de vedere divin sau demonic: știința lui Newton, acest Moise modern, căruia i s-a dezvăluit adevărul asupra lumii, este o știință *revelată*, definitivă, străină contextului social și istoric, care o identifică ca pe o activitate izvorîtă dintr-o comunitate umană. De-a lungul întregii istorii a fizicii, vom regăsi acest tip de discurs profetic inspirat; el a însoțit fiecare inovație conceptuală, de fiecare dată cînd fizica părea să se unifice și cînd triumful acestei unificări îi obliga pe fizicieni să abandoneze masca prudentă a pozitivismului. De fiecare dată, fizicienii au repetat, în limbajul propriu fiecărei epoci, ceea ce scrisese fiul lui Ampère: cuvîntul acesta — atracție, energie, teoria cîmpurilor, particule subatomice — este cuvîntul creației. Ca și în epoca lui Laplace, sau la sfîrșitul secolului al XIX-lea, de fiecare dată cînd fizicienii anunță că fizica a devenit un subiect închis — sau pe punctul de a fi închis, deoarece de acum se poate contura, ultimul punct de rezistență a Naturii, acel punct care, în momentul în care va ceda,

natura va fi oferită, în întregime și fără apărare cunoașterii noastre — ,ei repetă fără să știe gesturile credinței vechi, ei așteaptă pe noul Moise, repetarea triumfului newtonian.

Se va putea spune că această pretenție profetică nejustificată și acest entuziasm naiv nu au nici o importanță. Oare nu s-a continuat dialogul cu natura, nu s-au căutat noi limbaje teoretice, întrebări noi și noi posibilități de răspuns? Este fără îndoială adevărat, dar interpretarea globală nu a putut să nu influențeze cercetările locale. Interpretarea globală se sprijină pe activitatea efectivă a oamenilor de știință, dar în același timp, ea îi și orientează: această interpretare globală favorizează anumite direcții de cercetare, fixează raporturile dintre diferitele regiuni ale cunoașterii și stabilește frontul înaintat al interogărilor. Ea este aceea care definește strategia cercetării, și mai ales definește ca strategie: a învălui natura, a o forța, pentru a o face să mărturisească legea căreia îi este supusă, limbajul ce-l vorbește [73].

Oricare ar fi limbajul pe care fizica l-a atribuit pînă acum naturii, acest limbaj a definit permanent o lume naturală din care omul era exclus. Ceea ce bineînțeles se explică cu ușurință. La începuturile sale, dialogul experimental nu putea să pună decît probleme elementare; obiectele de referință a căror descriere a putut fi matematizată prin fizică, și care călăuzesc explorarea ei, precum mișcarea aștrilor și funcționarea mașinilor simple idealizate, aceste obiecte sînt de o simplitate deosebită și ele se află la baza acelei lumi newtoniene profetizată de Laplace. Oricum ar fi, omul este produsul unor procese fizico-chimice extrem de complexe și de asemenea, în aceeași măsură, produsul unei istorii, aceea a dezvoltării sale proprii, dar totodată aceea a isto-

[73] Această problemă constituie una din temele operei lui Michel Serres; vezi îndeosebi capitolul „Conditions" din *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*, Paris, Minuit, 1977.

riei speciei, a societăților sale, printre alte societăți naturale, animale și vegetale. Complexitatea și istoria, aceste două dimensiuni lipsesc de asemenea din lumea contemplată de demonul lui Laplace. Natura pe care o presupune dinamica clasică este o natură în același timp lipsită de memorie, lipsită de istorie și determinată în întregime de trecutul ei; este o natură indiferentă, pentru care orice stare este echivalentă, o natură fără relief, plată și omogenă, coșmarul unei neînsemnătăți universale. Timpul acestei fizici este timpul desfășurării progresive a unei legi veșnice, dată odată pentru totdeauna și exprimată în totalitate prin oricare din stările lumii.

Forma sistematică pe care și-a conferit-o fizica clasică, pretenția ei de a constitui o descriere a lumii, închisă, coerentă, completă, înlătură pe om din lumea pe care o descrie în calitatea sa de locuitor, dar — după cum am spus — și în calitatea celui care o descrie.

Einstein a fost acela care, încă o dată, a exprimat enigma la care a condus mitul științei moderne; el a scris și a repetat: miracolul, singurul lucru cu adevărat uimitor, este faptul că există o știință, că există o asemenea convergență între natură și spiritul uman, astfel încît o structură matematică inventată în mod liber să poată atinge structura însăși a lumii. În această uimire răsună ceva ca un ecou al unei alte declarații, celebră la vremea sa. Cînd, la sfîrșitul secolului al XIX-lea fizicianul german Du Bois-Reymond a considerat demonul lui Laplace ca întruchiparea logicii științei moderne, el a adăugat: „*Ignorabimus*"; în permanență vom ignora total raportul dintre această lume pe care știința ne-o face transparentă, și spiritul care cunoaște, percepe, creează această știință [74].

---

[74] În legătură cu demonul lui Laplace vezi Cassirer E., *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*, New Haven, Yale University Press, 1956, p. 3—25.

Lumea lui Laplace ca și aceea spre care aspira Einstein este o lume simplă și străvezie, fără umbre, fără densitate, care apare ca total independentă de activitatea experimentală, de alegerea punctelor de vedere și de selecția proprietăților importante; în această lume, în calitate de locuitor, participant al unei evoluții naturale, omul este de neconceput; în calitate de experimentator activ, care alege, manipulează, pune în scenă, comunică, discută și critică rezultatele obținute, el de asemenea a dispărut, s-a resorbit, devenind doar un punct: conștiința care cunoaște și contemplează o lume ce s-a predat și o lume fără mister. Punctul acesta este însă o rămășiță de o totală opacitate. El se află în obscuritatea impenetrabilă care constituie corelatul logic al unei lumi ce este complet luminată fiind fără relief, un punct în afara lumii, o sursă de lumină ce nu poate fi cunoscută.

Natura comunică prin mii de voci și noi abia am început s-o ascultăm, dar de aproape două veacuri demonul lui Laplace ne obsedează imaginația, renaște necontenit, și odată cu el coșmarul neînsemnătății oricărui lucru, solitudinea halucinată a aceluia care, atîta vreme, s-a crezut locuitorul unei lumi pe măsura sa. Dacă lumea este într-adevăr astfel încît un demon — adică oricum o ființă asemănătoare cu noi, posedînd aceleași cunoștințe, dar simțuri mai ascuțite și o mai mare putere de calcul — ar putea să-i calculeze atît viitorul cît și trecutul pornind de la observarea unei stări instantanee, dacă într-adevăr adevărul naturii este conținut în dinamică și nimic nu deosebește calitativ sistemele simple pe care le putem descrie de acelea mai complexe pentru care ar fi nevoie de un demon, atunci lumea nu ar fi decît o imensă tautologie, eternă și arbitrară, tot atît de necesară și absurdă în fiecare din amănuntele sale, ca și în totalitatea sa. Așa sună sfidarea acestei științe moderne pe care ne-a lăsat-o moștenire veacul al XIX-lea și de a cărei vrajă trebuie astăzi să ne eliberăm.

Capitolul III

Cele două culturi

1. Discursul viului

Gîndirea occidentală a fost dominată după cum am văzut, de două modele, mai întîi cel al lui Aristotel, ulterior cel al lui Galilei. Pe care să-l alegem? Pentru a înțelege procesele naturale trebuie oare să observăm mișcarea aștrilor, sau mai curînd ființele vii ce populează Terra? Am arătat mai înainte că dezvoltarea științei moderne a fost marcată de abandonarea inspirației vitaliste și, îndeosebi a cauzelor finale aristotelice. Dar problema organizării vii rămîne valabilă și Diderot, de exemplu, chiar în epoca triumfului gîndirii newtoniene subliniază că, de fapt, aceasta a fost respinsă de știința fizicii: el și-o imaginează terorizînd somnul fizicienilor, incapabili de aici înainte să gîndească la această problemă în stare de veghe, adică în cadrul teoriilor lor. Iată și visul lui d'Alembert: „Un punct viu ... Ba nu, mă înșel. Mai întîi nimic, apoi un punct viu ... La acest punct viu se adaugă un altul, și încă un altul; și din aceste adăugiri succesive rezultă o ființă unitară căci, într-adevăr, eu sînt unitar, n-am nici o îndoială. (Spunînd aceste cuvinte, el se pipăia pe tot corpul). Cum s-a făcut însă această unitate ... Iată, filozofule, zăresc în adevăr un agregat, un țesut de mici ființe sensibile, dar un animal ... un întreg ... avînd conștiința unității sale! Nu-l văd, nu, nu-l văd ..." [75].

Într-o convorbire imaginară cu d'Alembert, Diderot apare el însuși în scenă, aruncînd în aer insuficiența explicației mecaniciste: „Vedeți acest ou? Cu acesta se răstoarnă toate școlile

---

[75] Diderot D., *Le Rêve de d'Alembert*, în *Oeuvres*, Paris, Gallimard, La Pléiade, 1935, p. 677.

teologice și se dărîmă toate templele de pe pămînt. Ce este acest ou? Înainte de a apare germenul, o masă insensibilă ... Cum va trece această masă la o altă organizare, la sensibilitate, la viață? Prin căldură. Cine va produce căldura? Dar mișcarea? Care vor fi urmările succesive ale acestei mișcări? În loc de a-mi răspunde luați loc și să urmărim cu ochiul, pas cu pas. Iată mai întîi un punct care oscilează, un firișor care se întinde și se colorează: carnea care se formează și cum apar un cioc, fragmente de aripi, ochi, picioare; o materie gălbuie care se desfășoară și produce intestine; iată o ființă... merge, zboară, se irită, fuge, se apropie, plînge, suferă, iubește, dorește, se bucură; are aceleași sentimente ca voi, înfăptuiește aceleași acțiuni. Pretindeți oare, ca și Descartes, că este vorba de o simplă mașină care imită? Dar și copiii vor rîde de dumneavoastră, iar filozofii vă vor răspunde că dacă este vorba de o mașină, atunci și dumneavoastră sînteți o mașină. Dacă acceptați că între animal și dumneavoastră nu există altă diferență decît în organizare, veți da dovadă de bun simț și de rațiune, veți fi de bună-credință; dar, împotriva dumneavoastră, se va trage concluzia că din materie inertă, dispusă într-un anumit mod, impregnată de altă materie inertă, de căldură și mișcare, se obține sensibilitate, viață, memorie, conștiință, pasiuni, gîndire ... Ascultați și o să vă fie milă de propria ființă; veți simți că refuzînd să admiteți o ipoteză simplă care explică totul, sensibilitatea, proprietate generală a materiei, sau produs al organizării, renunțați la bunul simț și vă aruncați într-o prăpastie de mistere, de contradicții și absurdități [76].

Atacînd templul mecanicii raționale, împotriva tuturor acelora care proclamă că natura materială nu este decît masă inertă și mișcare, Diderot recurge astfel la ceea ce a constituit fără îndoială

---

[76] Diderot, D., *Entretien entre D'Alembert et Diderot*, *op. cit.*, p. 670—671.

una din cele mai vechi surse de inspirație în fizică, spectacolul dezvoltării progresive, al diferențierii și al organizării aparent spontane a embrionului. Se formează mușchii, ciocul, ochii, intestinele; într-adevăr, există o organizare progresivă a unui spațiu pur biologic și care pleacă de la un mediu omogen, de la o masă probabil insensibilă, apariția unor forme diferențiate, exact la momentul și locul oportun, într-un proces coordonat și armonios.

Cum se poate admite ca masa inertă și chiar masa newtoniană animată de forțele de interacțiune gravitațională să poată fundamenta explicarea acestei apariții de structuri locale, organizate și active? Căci este adevărat că legile newtoniene ale mișcării descriu traiectorii circulare și eliptice care constituie forme localizate într-o regiune limitată a spațiului, dar în același timp ele descriu și parabola și hiperbola care se întind la infinit. Cercul și hiperbola sînt determinate de *aceeași* forță, variază doar condițiile inițiale ale traiectoriei, poziția și viteza. Sistemul newtonian constituie un *sistem al lumii*. Totalitatea corpurilor din Univers se află în interacțiune și nimic nu favorizează mișcările restrînse la un sub-spațiu în raport cu traiectoriile fără limite spațiale. Sistemul newtonian nu dă nici un sens diferențierii spațiului, constituirii unor limite naturale, apariției unei funcționări organizate, într-un cuvînt nici unuia din procesele pe care le implică dezvoltarea unei ființe vii.

Dar Diderot nu se lasă pradă deznădejdii. Știința este abia la început spune el, mecanica rațională a fost doar o primă încercare, foarte abstractă, și spectacolul oului va fi suficient pentru a-i răsturna pretențiile la universalitate. Deja copiii rîd, iar filozofii ripostează.

De aceea el compară lucrările marilor mecanicieni, de exemplu Euler, Bernoulli, d'Alembert, cu piramidele egiptene, mărturie grandioasă și înfiorătoare a geniului unor constructori, dar care

de aci încolo nu fac decît să subziste solitare și părăsite. Știința adevărată, vie și fecundă, va continua în altă parte [77].

După cum i se pare lui, această știință nouă, știința naturii vii și organizate, există deja. D'Holbach studiază chimia, iar Diderot medicina. În cele două cazuri este vorba de a opune masei inerte și legilor universale ale mecanicii materia activă, capabilă de a se organiza, de a produce ființele vii. Materia este sensibilă, susține Diderot, și chiar piatra are senzații surde în sensul că moleculele ce o compun caută în mod activ anumite combinații și evită altele, fiind cîrmuite de dorințele și aversiunile lor. Sensibilitatea organismului întreg nu este decît suma sensibilității părților, după cum roiul de albine avînd o comportare globală coerentă este în realitate creat prin interacțiunea locală dintre albine, mergînd din aproape în aproape; nu există suflet uman, după cum nu există un suflet al stupului [78].

Protestul vitalist al lui Diderot împotriva fizicii și a legilor universale ale mișcării are la bază refuzul său de a accepta orice dualism spiritual. Natura materială trebuie astfel descrisă încît să reiasă fără absurdități existența funciarmente naturală a omului. Fără de aceasta, și este cazul cu ceea ce se întîmplă cu mecanica rațională, descrierea științifică a unei naturi automate va avea drept corolar automatul *înzestrat cu suflet*, străin prin aceasta naturii înseși.

Dubla inspirație, chimică și medicală, a naturalismului materialist pe care Diderot îl opune științei fizicii din vremea sa, este foarte răspîndită în veacul al XVIII-lea. În timp ce biologii

---

[77] Diderot D., *Pensées sur l'interprétation de la Nature*, 1754, în *Oeuvres complètes*, vol. 2, Paris, Garnier Frères, 1875, p. 11.

[78] Diderot atribuie această propoziție medicului Bordeu în *Les rêves de d'Alembert*. Vezi Roger J., *Les Sciences de la vie dans la pensée française du* XVIII[e] *siècle*, pentru analiza raporturilor dintre Diderot și filozofii-medici ai epocii sale, și p. 623, textul lui Bordeu despre stup.

fac speculații asupra omului-mașină, a preexistenței germenilor și a înlănțuirii ființelor vii, probleme abordate de la un capăt la altul de teologie [79], adeseori chimiștii și medicii, și cel mai adesea chimiștii-medici, se lovesc direct de complexitatea proceselor reale, de diversitatea lor, de singularitatea comportărilor materiei și ale vieții.

Din punctul de vedere metodologic, de asemenea la finele veacului al XVIII-lea, chimia ca și medicina sînt științe privilegiate pentru cei ce luptă împotriva „spiritului de sistem" al fizicienilor și pentru o știință care să respecte diversitatea proceselor naturale: un fizician ar putea să fie un spirit pur; ar putea fi chiar un copil fără experiență, dar cu idei geniale; cît despre medici sau chimiști, ei trebuie să posede experiență și pricepere, ei trebuie să descifreze semnele, să recunoască orice indiciu. Din acest punct de vedere, chimia și medicina sînt *arte*, ele presupun privire ageră, hărnicie, observație îndîrjită [80]. Chimia este o pasiune de nebun, conchide Venel în articolul scris pentru Enciclopedia lui Diderot, elocventă apărare a chimiei împotriva hegemonismului abstract al savanților newtonieni [81].

---

[79] Referitor la acest subiect vezi studiul lui Roger, și celebrul *Great Chain of Being*, de Lovejoy A. (Harvard, University Press, 1973).

[80] Acest protest al lui Venel constituie, între altele, un simbol al rezistenței lucrului „artistic" (după cum îl caracterizează Moscovici în *Essai sur l'histoire humaine de la nature*: „Oamenii reprezintă încă memoria ei cea mai bună, gesturile lor, limbajul ei cel mai bun", p. 85), împotriva travaliului „instrumental" cu noua sa economie de facultăți biologice, unele dintre ele ascuțindu-se, altele pierind: „Percepția se dublează prin estimări și calcule: ochiul vede geometric. Funcționarea mecanismelor, de la ceasornic la mașina universală, creează simțuri noi... Sensibilitatea se degajă din experiența imediată, încetează de a fi miros, vedere, pipăit" (Moscovici, S., p. 94).

[81] Gillipsie, specialist în istoria științei, a enunțat teza după care ar exista o relație puternică între protestul împotriva fizicii matematice, popularizat de Diderot și de *Encyclopédie* și ostilitatea revoluționarilor care au închis Academia

Protestul chimiștilor și al medicilor, protestul practicienilor confruntați cu boala, cu infecția, cu degradarea, împotriva generalizării pretinsă de fizică, împotriva mecanismelor liniștite și a calmului pe care-l degajă legile universale la care fizicienii încercau să reducă corpul viu, acest protest era deja vechi în epoca lui Diderot. Trebuie evocată aici eminenta figură a lui Stahl, părintele vitalismului și creatorul primului sistem chimic coerent și fecund.

Legile universale se aplică viului, susține Stahl, însă numai în sensul că ele îi determină moartea, degradarea; substanțele din care este constituit viul sînt atît de fragile, se descompun atît de ușor, încît dacă el ar fi supus doar legilor obișnuite ale materiei, nu ar rezista nici o singură clipă degradării și descompunerii. Dacă în ciuda acestora, viul supraviețuiește totuși — oricît de scurtă ar fi viața sa în raport cu aceea a unei roci sau a oricărui alt corp neînsuflețit — , el trebuie să dețină în el un „principiu de conservare" care să constituie și să mențină echilibrul social armonios al țesăturii și structurii corpului său. Uimitoarea durată de viață a corpului viu, dacă ținem seama de extrema fragilitate a materiei care-l compune, relevă acțiunea unui „principiu natural, permanent, imanent", a unei cauze particulare, străină legilor materiei neînsuflețite și care

---

și l-au decapitat pe Lavoisier. Această problemă este foarte controversată, dar rămîne o realitate faptul că triumful mecanicii newtoniene în Franța coincide cu o perioadă de readucere a lucrurilor înapoi și cu victoria Academiei împotriva cercetătorilor empirici apărați de Diderot ("The Encyclopedia and the Jacobin Philosophy of Science. A Study in Ideas and Consequences" în *Critical Problems in the History of Sciences*, ed. Clagett M. Madison, Wisconsin, 1919, p. 255—289). Merită a fi semnalată următoarea schimbare: autonomia chimiei, apărată de chimiștii-filozofi și de meșteșugari s-a realizat în cele din urmă, dar în cadrul compartimentării academice și a unei definiții, a unei practici pozitiviste a chimiei. Abandonarea programului de chimie newtoniană nu a coincis cu recunoașterea justificării „chimiei filozofice", ci s-a făcut *împotriva* ei.

luptă neîncetat împotriva degradării mereu active, rezultă din aceste legi [82].

Această analiză a problemei vieţii ne este în acelaşi timp apropiată şi îndepărtată; apropiată prin înalta conştiinţă a precarităţii vieţii şi a singularităţii ei în raport cu legile generale ale descompunerii şi ale dispersiei; îndepărtată, deoarece, asemenea lui Aristotel, Stahl defineşte viul înainte de toate în termeni statistici, în termeni de conservare şi nu prin devenire. În fapt, în ceea ce priveşte problema viului, putem recunoaşte aceeaşi întîietate acordată permanenţei în preponderenţa pe care, în zilele noastre, unii biologi o acordă informaţiei genetice. Este deci normal să regăsim tipul de vocabular utilizat de Stahl în textele acestor biologi: enzimele „luptă" împotriva degradării, permit corpului să întîrzie o moarte la care inexorabil îl condamnă fizica; organizarea reprezintă o sfidare la legile naturii şi singura evoluţie „normală" este aceea care conduce la moarte.

Vitalismul lui Stahl şi-a menţinut valoarea atîta vreme cît legile fizicii s-au identificat cu tendinţele spre descompunere şi dezorganizare: „principiul vitalist" a fost înlocuit prin succesiunea improbabilă a mutaţiilor ce păstrează textul genetic, lăsînd totuşi viul marginal naturii. A fost nevoie să se descopere „noile stări ale materiei", structurile disipative, pentru ca, în sfîrşit, conservarea şi dezvoltarea unor structuri active să poată fi deduse din legile fizicii, iar organizarea să apară ca un proces *natural*.

Totuşi, cu mult înainte ca problema lui Stahl să fi primit acest răspuns teoretic, discursul viului se transformase, gîndirea romantică, altă formă de protest împotriva mecanicismului, răscolise peisajul intelectual din care-şi trage rădăcinile acest discurs.

---

[82] Stahl G. E. „De stabilit o distincţie veritabilă între ce este mixt şi ce este viu în corpul omenesc" în *Oeuvres medico-philosophiques et pratiques*, vol. 22, Pitrat et Fils, Montpellier, 1861, mai ales p. 279—282.

Stahl critica metafora automatului, deoarece contrar viului, automatul își are cauzalitatea în afara lui însuși, organizarea îi este impusă de către constructor. După Stahl, ceea ce este propriu viului e faptul de a fi intrinsec mecanic, de a poseda în el însuși rațiunea și finalitatea organizării sale. Departe de a pune studiul viului în afara influenței științei, Diderot vedea în acest studiu viitorul științelor raționale și experimentale care — după părerea sa — abia începeau. Cîțiva ani mai tîrziu, aceste două puncte de vedere sînt puse în cauză [83]. Cuvîntul „automat" a devenit, mai ales în Germania, un termen peiorativ: activitatea mecanică nu mai pune problema naturii interne sau externe a finalității organizatorice, ci a devenit sinonimă cu artificiu și moarte. Acestuia i s-au opus, într-un sistem care ne este familiar, noțiunile de viață, spontaneitate, libertate și spirit. Această opoziție este dublată de aceea dintre inteligența calculatoare și manipulatoare și libera activitate speculativă a spiritului, capabilă de a reuni imediat, fără efortul laborios al științei obiective, activitatea spirituală care se identifică cu natura.

Foarte pe scurt, am putea spune că cunoașterea filozofică a naturii — după această nouă definiție a domeniului gîndirii — ar fi trebuit să fie mai apropiată de geniul artistic, de activitatea creatorului care intră în rezonanță directă cu aceea a naturii creatoare și producătoare de forme, decît de munca științifică. Omul de știință nu ar fi capabil să se adreseze naturii decît ca unui ansamblu de obiecte particulare ce pot fi manipulate și măsurate: astfel ar putea să ia în stăpînire o natură pe care o supune și o controlează, dar nu o cunoaște. Astfel, cunoașterea adevărată s-ar găsi prin esența ei în afară științei.

---

[83] Vezi Schlanger J., *Les Métaphores de l'organisme*, în care găsim descrierea transformării termenului „organizare" între Stahl și romantici, p. 49—60.

Nu este vorba aici de istoria filozofiei, vrem doar să subliniem cît de mult s-a înăsprit critica filozofică a științei. Nu se mai pune problema de a combate niște pretenții cam naive și oarbe, repetate cu voce tare pentru a-i face pe copii să rîdă, și de a ridiculiza pe cei care le exprimă; acum se combate însuși tipul de cunoaștere care *produce* știința experimentală și matematică a naturii. Lupta este dusă cu argumente care ne amintesc întrucîtva pe acelea pe care le-am schițat în capitolul I al acestei cărți. Reprosul care se aduce acestei cunoașteri nu se referă la limitele ei, ci la însăși natura ei, anunțîndu-se o altă cunoaștere, *rivală*, întemeiată pe un alt demers. Cultura se află astfel polarizată în jurul a două poziții ce se înfruntă fără milă.

Tranziția între Diderot și romantici și mai precis între cele două moduri de raportare critică la știință, pe care tocmai le-am schițat, poate fi clarificată, din punct de vedere filozofic prin modificarea modului de a pune problema științei impus de Kant. Din punctul de vedere care ne interesează, este esențial faptul că prin critica kantiană, obiectul științific în general a fost identificat cu obiectul newtonian; ea a definit astfel ca imposibilă o opoziție față de mecanicism care să nu fie și opoziție față de știința însăși și deci o devalorizare a activității de înțelegere în beneficiul unui tip de cunoaștere radical diferit.

2. Ratificarea critică

Una din ambițiile esențiale ale filozofiei kantiene este de a pune ordine în peisajul intelectual rămas în plin haos, prin dispariția lui Dumnezeu, creator rațional și garant al științelor naturii. Într-o modalitate care pentru mulți rămîne încă perfect valabilă, Kant reglementează problema adevărului științific, acest adevăr global la care oamenii de știință pretind că ar avea acces, în timp ce nici unul dintre ei nu mai poate

să susţină, decît doar metaforic, că ştiinţa ar descifra cuvîntul creaţiei. De acum înainte Dumnezeu tace, sau cel puţin nu mai vorbeşte limbajul înţelegerii umane [84].

Haosul nu era însă numai de ordin epistemologic: într-o natură din care s-a eliminat timpul, ce devine oare experienţa subiectivă şi devenirea pe care ea o presupune, ce devine libertatea, destinul particular al fiecărui individ?

Într-un anumit fel, soluţia lui Kant era singura posibilă pentru cine voia să afirme posibilitatea unei morale, acceptînd în acelaşi timp caracterul complet şi veridic al descrierii oferite de dinamică. În loc de a plasa în centrul acestei descrieri pe Dumnezeu, sursă a ordinii din această lume, şi garanţia cunoaşterii acestei ordini, trebuia plasat, în centru, subiectul uman, pentru a face din el atît creatorul cît şi garantul ordinii fenomenelor naturale. Lumea fenomenală ar putea fi astfel dublată de o altă realitate, non-creată de către subiect, o realitate spirituală care alimentează viaţa estetică, morală şi religioasă a omului.

Soluţia kantiană justifică dintr-odată atît cunoaşterea ştiinţifică cît şi faptul că omul este străin în lumea descrisă de această ştiinţă: de fapt, ceea ce elabora din punct de vedere filozofic Kant, nu este nimic altceva decît discursul mitic al ştiinţei moderne. În acest sens el lua act de forma sistematică pe care o căpătase fizica de-a lungul veacului al XVIII-lea şi trasa acesteia domeniul de validitate, determinîndu-i fundamentele şi limitele legitimităţii sale.

Kant defineşte problema filozofiei critice ca *transcendentală*: ea nu priveşte obiectele experienţei, dar porneşte de la faptul *aprioric* că o cunoaş-

---

[84] Această secţiune poate fi considerată ca o aplicare a tezei lui Michel Serres („Leibniz retraduit en langue mathématique", în *La Traduction*, Paris, Minuit, 1974) în care se vede cum orice filozofie care-şi propune să judece ştiinţa, se situează pe o poziţie de dominare.

tere sistematică a acestor obiecte este posibilă — lucru demonstrat de existența fizicii — și enunță condițiile *a priori* ale posibilității acestui mod de cunoaștere.

Pentru aceasta trebuie să distingem senzațiile simple pe care le primim și modul obiectiv de cunoaștere, modul de cunoaștere rațional; cunoașterea obiectivă nu este pasivă, ea își constituie obiectele sale. Cînd luăm un fenomen ca obiect de experiență, înaintea oricărei experiențe efective, îi presupunem *a priori* o comportare legală, supunerea la un ansamblu de principii. De fapt, după cum susține Kant, noi putem face acest tip de presupunere, obiectul pe care-l percepem răspunde speranței noastre, deoarece el este deja supus acestei ordini legale, pentru că fiind perceput ca obiect de cunoaștere posibilă, el este produsul activității de sinteză *aprioricâ* a spiritului nostru. Noi sîntem anteriori obiectelor cunoașterii noastre iar omul de știință însuși este chiar sursa legilor universale pe care acesta le descoperă în natură.

Condițiile a priori ale experienței asupra unui obiect sînt însești condițiile de existență ale obiectelor experienței; această celebră frază rezumă „revoluția copernicianâ" înfăptuită prin interogarea transcendentală: subiectul nu se mai „rotește" în jurul obiectului său, încercînd să descopere cărei legi i se supune, ce tip de limbaj îi poate da posibilitatea unei descifrări; în centru se află el, el impune legea iar lumea așa cum o percepe, vorbește propriul său limbaj. Nu este surprinzător în acest caz că știința newtoniană poate descrie lumea dintr-un punct de vedere exterior, cvasi divin!

Desigur, faptul că orice fenomen perceput ca un obiect de interogare, se află chiar prin aceasta supus *a priori* conceptelor raționale, nu înseamnă că cunoașterea concretă a acestor obiecte este inutilă. Știința, după Kant, nu dialoghează cu natura, ci îi impune limbajul său; totuși, în fiecare caz ea trebuie să descopere ceea ce exprimă în

mod particular lucrurile în cadrul acestui limbaj general. Cunoașterea numai a conceptelor *a priori*, este prin ea însăși o cunoaștere goală, fără conținut; este necesară activitatea științei pentru a supune efectiv ansamblul lumii categoriilor cunoașterii.

În cadrul acestei doctrine, demonul lui Laplace, acest simbol al mitului științific, este o iluzie, dar o iluzie *rațională*. El constituie, desigur, rezultatul unei treceri la limită puțin legitimă, dar este — în același timp — expresia convingerii legitime care călăuzește știința și este motorul ei: natura, în totalitatea sa, este supusă de drept legității pe care, puțin cîte puțin, oamenii de știință o dezvăluie. Ori încotro ar merge, orice întrebări ar pune, știința va obține, dacă nu același răspuns, cel puțin aceeași formă de răspuns. O adevărată sintaxă universală cuprinde toate răspunsurile posibile. Găsim aici, într-adevăr, justificarea filozofică a asimilării între constituirea unei structuri formale închise, asemenea limbajului dinamicii, și proiectul descrierii complete a unei lumi omogene.

Filozofia transcendentală a permis astfel științei newtoniene să edifice adevărul activității umane de explorare a naturii, codificarea sa; ea a ratificat pretenția fizicienilor de a fi scos la iveală forma finală și definitivă a oricărei cunoașteri pozitive a lumii. Simultan însă, ea și-a asigurat o poziție de dominare asupra științei. Ea nu mai trebuie să caute semnificația filozofică a rezultatelor activității științifice: din punct de vedere transcendental, aceste rezultate nu pot aduce nimic nou. Pentru filozofie, știința și nu rezultatele ei constituie subiect de reflecție. Știința încremenită în sistem, definită ca incapabilă de a produce un concept de valoare pentru filozofie, a devenit poziția stabilă a reflecției transcendentale.

În aceeași măsură în care ratifica pretențiile științei, filozofia critică a lui Kant a îndreptat, de fapt, activitatea științifică pe terenul unor pro-

bleme pe care trebuie să le recunoaştem ca neînsemnate şi uşoare, destinînd ştiinţa unei activităţi nedefinite, de descifrare a limbajului monoton al fenomenelor; filozofia îşi rezerva domeniul problemelor care se referă la „destinul" uman, la ceea ce omul poate să cunoască, ceea ce trebuie să facă, ce trebuie să spere. Lumea pe care ştiinţa o studiază, lumea accesibilă cunoaşterii pozitive, „nu este decît" lumea fenomenelor. Omul de ştiinţă nu numai că nu poate cunoaşte lucrurile în sine, dar întrebările pe care le poate pune nu au nici o valoare pentru problemele adevărate ale omenirii; frumuseţea, libertatea şi etica nu pot fi obiecte de cunoaştere pozitivă şi deci de ştiinţă: ele aparţin lumii noumenale, domeniu al filozofiei total străin lumii fenomenului.

Acceptăm, fără îndoială, punctul de plecare al lui Kant, teza asupra rolului activ pe care omul îl are în descrierea ştiinţifică; am vorbit prea mult de experiment ca de o artă deosebită pentru a fi necesar să revenim acum asupra ideii că în orice descriere ştiinţifică ca şi în orice experienţă, unele principii sînt presupuse dinainte, făcînd posibilă experienţa şi pe care aceasta nu le poate stabili. Totuşi, Kant, după cum am văzut, merge mai departe. El neagă diversitatea punctelor de vedere ştiinţifice asupra naturii, şi deci, la fel, necesitatea unei alegeri ireductibile şi pozitive: selecţia unei situaţii problematice în interiorul căreia se pot pune întrebări precise şi căuta răspunsuri experimentale. În acord cu mitul ştiinţei moderne, Kant caută limbajul *unic* descifrat de ştiinţă în natură, ansamblul unic de ipoteze pe care se bazează fizica, identificîndu-se din acel moment cu ceea ce constituie chiar categoriile raţiunii.

Poziţia critică adoptată de filozofia kantiană şi, pornind de la ea, de un mare număr de filozofi pînă în zilele noastre, ratifică la nivelul principiilor o situaţie de fapt: nu există dialog posibil, cu o ştiinţă al cărei discurs este mitic. Ea defineşte activitatea ştiinţifică mută şi sistematică,

închisă în ea însăşi. Prin aceasta, filozofia consacră şi stabilizează situaţia de ruptură; ea abandonează ştiinţei domeniul cunoaşterii pozitive pentru a-şi rezerva meditaţia asupra existenţei umane, asupra deschiderii pe care o reprezintă libertatea omului, cu un cuvînt asupra a tot ce în om, este considerat ca superior determinărilor pozitive, „naturale".

Natura antică era izvor de înţelepciune, natura medievală vorbea de Dumnezeu, cît despre natura modernă, aceasta a amuţit în asemenea măsură, încît Kant a considerat necesar să separe în întregime ştiinţa şi înţelepciunea, ştiinţa şi adevărul. De aproape două secole trăim această separare; sîntem de acum nerăbdători ca ea să înceteze şi, din punct de vedere ştiinţific, se pare că există acum condiţiile pentru ca să ia sfîrşit.

În această privinţă, una din chestiunile hotărîtoare este aceasta: este oare din nou posibilă o filozofie a naturii care să permită să gîndim într-un mod coerent introducerea omului în natură şi perspectivele asupra naturii, aşa cum sînt deja date de ştiinţă?

3. O filozofie a naturii?

Am arătat că primele încercări post-kantiene de filozofie a naturii s-au preocupat să afirme posibilitatea unei gîndiri sistematice distincte de ştiinţă, chiar direct ostile, posibilitatea unei speculaţii eliberate de constrîngerile dialogului experimental identificate cu limitele cunoaşterii. Independent de orice judecată de valoare asupra acestor filozofii ale naturii, ne vom lua riscul de a aprecia că ele au contribuit la crearea unei situaţii culturale dezastruoase. Pentru cea mai mare parte a oamenilor de ştiinţă, filozofia naturii a devenit sinonimă cu speculaţia orgolioasă şi superficială, plină de dispreţ pentru faptele concrete, dar pe care, în schimb, au ridiculizat-o faptele. Pentru unii filozofi ea a devenit simbolul

chinuitor al pericolului de a se ocupa de natură și de a rivaliza cu știința. Astfel, s-a acceptat o tendință spre o compartimentare generală care, îndeosebi, desparte filozofia de una din tradiționalele ei surse de reflecție și rupe știința de mijloacele de a reflecta asupra practicii. În secolul al XIX-lea oamenii de știință se închid în domenii selecționate sub protecția Academiei proaspăt organizate pentru ca, în condiții de „asceză intelectuală" să întreprindă o cercetare, despre care ei afirmă că ar fi autonomă și detașată în raport cu preocupările societății care-i adăpostește [85].

Astfel, chimia și fiziologia, științe ale corpului viu, aceste două științe în care Diderot își pusese speranța unei reînnoiri a interogării raționale a naturii, acestea vor deveni prin excelență științe academice și, în special prin reacție deliberată și bine gîndită împotriva filozofiilor naturii, se vor limita la o practică experimentală, ostilă oricărei speculații intelectuale. La Giessen, în special, unde Liebig crease tocmai primul laborator universitar de tip modern [86], se constituie o primă generație de chimiști eliberați de neliniștea speculației și abordînd cu entuziasm analiza sistematică a compoziției chimice a tuturor obiectelor posibile.

Totuși, studiind activitatea materiei și aceea a viului, cum se poate evita oare de a lua poziție față de raportul dintre concluziile acestor studii și problemele filozofice referitoare la natura omului și la locul său în lume? Foarte simplu, reluînd dualismul kantian în cadrul ordinii problemelor;

---

[85] Ravetz J., în *Scientific Knowledge and its Social Problems* (Penguin University Book, 1973) a studiat consecințele izolării academice asupra practicii științifice, și problemele dificile cu care este confruntată astăzi o știință care vrea să evadeze din acest turn de fildeș. Vezi și Ben David J., *op. cit.*

[86] Farrar W., "Science and the German University System 1790—1850", în *The Emergence of Science in Western Europe.*

singura poziție filozofică acceptabilă pentru un chimist sau un fiziolog „serios" din veacul al XIX-lea este o formă de kantianism implicită sau mărturisită, care justifică limitarea sa la investigații sistematice în interiorul unui cadru conceptual dat.

Cea mai desăvîrșită figură a acestui tip de „kantian" a fost Helmholtz, chimist, medic, fizician și fiziolog, care a dominat universitatea germană în momentul în care aceasta devenise modelul și centrul științei europene. El a fost acela care afirma că „toate fenomenele naturii trebuie reduse la mișcările particulelor materiale înzestrate cu forțe motrice invariante, și depinzînd numai de situația lor spațială"[87]. A înțelege natura, înseamnă a o înțelege în termeni de mecanică. Majoritatea fiziologilor puternicei școli germane (Liebig, Ludwig, Müller, Du Bois-Reymond, Virchow) sînt de acord cu Helmholtz asupra problemei esențiale: funcționarea fizico-chimică a ființei vii este supusă acelorași legi ca și materia neînsufletită și trebuie studiată cu aceiași termeni. Ei nu exclud ideea existenței unei „forțe vitale" care explică dezvoltarea și specificitatea viului, dar, deoarece această forță nu intervine cauzal, nu participă la economia forțelor fizico-chimice studiate de știință, ea nu este și nu poate fi pentru

---

[87] Helmholtz H., *Über die Erhaltung der Kraft*, 1847, reluat în Brusch S., *Kinetic-Theory*, vol. 1 *The Nature of Gases and Heat*, Oxford, Pergamon, 1965 (p. 92). Vezi și Elkana Y., *The Discovery of the Conservation of Energy*, Londra, Hutchinson Educational, 1974 și Hermann P. N., „Helmholtz and Kant: The metaphysical Foundations of „Über die Erhaltung der Kraft" în *Studies in the History and Philosophy of Science*, vol. 5, 1974, p. 205—238. Relativ la acest subiect găsim însăși relatarea lui Helmholtz în deosebit de remarcabila lucrare *Les grands hommes* de Wilhelm Ostwald (*Die grosse Männer*, traducere franceză, Paris, Flammarion, 1912) care constituie un bilanț și o reflecție critică despre instituționalizarea științei realizată în cursul veacului al XIX-lea.

ei obiect de studiu [88]. Fiziologia ca știință obiectivă trebuie să studieze funcționarea viului ca atare, ca ceva dat, fără a-și pune probleme referitoare la esența sau geneza sa. În cursul veacului al XIX-lea vitalismul este așadar larg acceptat de cercurile științifice, dar el constituie o convingere subiectivă asociată cu o activitate științifică obiectivă pe deplin reducționistă.

Reducționism și antireducționism, acest conflict din inima culturii științifice, apărut în veacul al XIX-lea, ne divizează și astăzi. El reprezintă urma, cicatricea lăsată de ruptura cu gîndirea filozofică. Dar acesta este de asemenea un punct sensibil, unul din acele puncte care — din cînd în cînd — face ca cutare sau cutare filozof să ceară socoteală oamenilor de știință, unul din punctele din cauza căruia cutare sau cutare om de știință trece în „cealaltă tabără", a filozofilor. Un exemplu celebru, Driesch.

Într-adevăr, altă tabără, deoarece de la sfîrșitul relativei unanimități din secolul al XVIII-lea, problema devenirii și a complexității s-a pus într-o modalitate cu totul diferită. Fără a intra în nici un detaliu, am vrea să citățm un eminent exemplu de gîndire filozofică în căutarea unei coerențe noi, împotriva reducționismului științific: filozofia hegeliană care integrează natura ordonată în nivele de complexitate crescîndă, în tabloul devenirii mondiale a spiritului. Domnia naturii se încheie odată cu spiritul devenit conștient de sine — omul.

Se poate spune, pe scurt, că filozofia hegeliană a naturii face un sistem din tot ceea ce nega știința newtoniană, și îndeosebi din diferența calitativă

---

[88] Această poziție trebuie situată în contextul conservării energiei (Elkana Y., *op. cit.* și secțiunea a 2-a din cap. IV al acestei cărți). Mecanicismul lui Helmholtz și al colegilor săi, pentru care „forța vitală" nu este obiect de știință, căci nu aparține bilanțului invariant al energiilor naturale, trebuie deosebit de materialismul mecanicist militant al unor filozofi ca Büchner, Moleschott, Vogt, analizat recent de către Gregory F., *Scientific Materialism in nineteenth Century Germany*, Dordrecht-Holland, Reidel 1977.

dintre comportarea simplă descrisă de mecanică și aceea a ființelor mai complexe. Ideii de reducție, ideii că diferențele nu sînt decît aparența și că natura este fundamental omogenă și simplă, ea îi opune ideea unei ierarhii în cadrul căreia fiecare nivel este condiționat de nivelul precedent, pe care-l depășește negîndu-i limitările pentru ca, la rîndul său, să condiționeze nivelul următor care va manifesta într-o modalitate mai adecvată și mai puțin limitată acțiunea spiritului în natură.

Contrar autorilor newtonieni de „romane ale materiei", de viziuni mondiale ce se întindeau de la interacțiunile gravitaționale pînă la pasiunile omenești, Hegel știa perfect de bine că această idee, a deosebirii de nivele — pe care o putem recunoaște, independent de propria sa interpretare, ca reflectînd o complexitate crescîndă și corespunzînd unei semnificații asupra noțiunii timpului tot mereu mai bogate — trebuia să se fundamenteze *împotriva* științei matematice a naturii. El avea să limiteze importanța științei matematice pentru natură, de fapt avea să arate că posibilitățile de a matematiza comportările fizice, se restrîng la comportările cele mai simple. Mecanica este matematizabilă, deoarece nu atribuie materiei decît proprietăți exclusiv spațio-temporale. „O cărămidă nu ucide un om pentru că este o cărămidă, ci produce acest rezultat doar în virtutea vitezei pe care o capătă; ceea ce înseamnă că omul este ucis de spațiu și de timp"[89]. Omul este ucis de ceea ce numim o energie cinetică $(mv^2/2)$, adică de o mărime abstractă care definește masa și viteza interschimbabile: pentru același efect putem diminua una din ele, mărind pe cealaltă.

Din acest caracter interschimbabil Hegel face o condiție a matematizării care dispare cînd depășim sfera mecanică spre o sferă superioară. Comportarea materiei devine atunci din ce în ce mai

---

[89] *Philosophie de la nature*, § 261.

specifică. Cărămida, de exemplu, nu va mai fi o masă în mișcare, ci un corp înzestrat cu proprietățile de densitate, conductibilitate termică, rezistență.

Să lăsăm aici sistemul hegelian. Am vrut numai să subliniem că acesta reprezintă un răspuns filozofic extrem de pretențios și riguros articulat la problema crucială pusă de timp și complexitate. Dar, în ochii unor generații de oameni de știință el a întruchipat prin excelență un obiect de repulsie și deriziune. De altfel, în ceea ce privește filozofia naturii, în cîțiva ani dificultățile intrinseci ale gîndirii hegeliene s-au dublat prin completa obscuritate a celor mai multe dintre referințele științifice care i-au permis lui Hegel să descrie logica dezvoltării spiritului în natură. Căci, în combaterea sistemului newtonian, Hegel s-a sprijinit pe anumite ipoteze științifice ale epocii sale [90]. Dar aceste ipoteze au căzut în uitare cu excepțională rapiditate. Din punctul de vedere al istoriei științelor, este într-adevăr greu să imaginezi un moment mai nefericit decît acest început al veacului al XIX-lea pentru a căuta în cunoștințele științifice sprijinul necesar unui proiect de alternativă față de știința newtoniană. La acea epocă începuseră să prolifereze, în special în fizică, teoriile ce păreau incompatibile cu știința newtoniană și în general cu matematizarea; multe dintre ele aveau să fie părăsite în cîțiva ani: matematizarea abia își desfășura efectele. Descoperirea conservării energiei îndeosebi, a unificat elementele a căror eterogenitate funciară voise să le sublinieze Hegel.

Nu vom intra mai departe în amănunte referitoare la filozofiile naturii din veacul al XIX-lea. Am ales să vorbim de filozofia romantică și cea hegeliană, deoarece, pentru o scurtă perioadă au

---

[90] Este concluzia la care ajunge Knight P. M., în „The German Science in the Romantic Period" în *The Emergence of Science in Western Europe*. Notele elaborate de Petry la traducerea operei *Filozofia Naturii*, permit să se reconstituie referințele științifice folosite de Hegel.

putut să apară ca rivale posibile ale științei pozitive; corespunzător, desconsiderarea construcției conceptuale ca și a intuiției totalizante a contribuit la divorțul cultural pe care îl descriem. La sfîrșitul secolului al XIX-lea, cînd Bergson la rîndul său și-a propus să caute o alternativă la știința epocii sale, care să fie acceptată de către oamenii de știință, el s-a îndreptat din nou spre intuiție, dar o intuiție foarte diferită de aceea a romanticilor, o intuiție de care va spune în mod clar că nu poate produce nici un sistem ci doar rezultate parțiale, non-generalizabile și exprimabile cu nesfîrșită prudență.

De aci înainte generalizarea este atributul inteligenței producătoare de știință, ea trebuie să ajungă la cunoștințe cărora li se pot aplica reguli. Cît despre intuiția bergsoniană, aceasta reprezintă o atenție încordată, o progresare din ce în ce mai grea, pe măsură ce se adîncește, pentru a pătrunde lucrurile în singularitatea lor, și a se înfășura în ele, participînd la durata care le constituie și aceasta fără posibilitate de abstractizare, fără concluzie generală. Desigur, pentru a fi comunicată, intuiția va trebui să treacă prin limbaj, va trebui „pentru a se transmite, să facă uz de idei" [91]; ea o va face cu o infinită prudență și răbdare, acumulînd imaginile și comparațiile concrete pentru „a înăbuși realitatea" [92]; astfel va reuși să sugereze din ce în ce mai precis ceea ce nu poate fi exprimat, deoarece numai inteligența poate să se exprime, adică să comunice prin cuvinte generale și idei abstracte.

Astfel, știința și metafizica intuitivă „sînt sau pot să devină la fel de precise și de sigure. Și una și cealaltă se ocupă de realitatea însăși. Dar fiecare dintre ele nu reține decît o jumătate, astfel încît în mod deliberat am putea să vedem în ele două subdiviziuni ale științei sau două compar-

---

[91] Bergson H., *La Pensée et le mouvant*, în *Oeuvres*, éd. du Centenaire, Paris, P.U.F., 1978, p. 1285

[92] Bergson H., *op. cit.*, p. 1287.

timente ale metafizicii, dacă ele nu ar marca direcţii divergente ale activităţii de gîndire“ [93].

Definiţia acestor două direcţii divergente poate fi de asemenea considerată ca un rezultat al istoriei; pentru Bergson nu se mai pune problema de a vedea în ştiinţele materiei şi ale vieţii o alternativă faţă de fizica epocii sale: aceste ştiinţe, după cum se va strădui să demonstreze, au luat drept model mecanicismul. Marea speranţă raţionalistă care la Diderot se baza pe viitorul chimiei şi al medicinei, s-a stins cu desăvîrşire. În ochii lui Bergson ştiinţa formează un întreg şi cere să fie judecată ca un întreg. Şi acest lucru îl face Bergson cînd explică ştiinţa ca produsul unei inteligenţe pragmatice şi laborioase, care vizează să pună stăpînire pe materie şi prin abstracţie şi generalizare, elaborează categoriile intelectuale adecvate acestui scop. Ştiinţa este produsul nevoii vitale de a trage foloase din lume, conceptele ei sînt determinate de necesitatea de a fabrica şi de a manipula obiectele, de a prevedea şi de a acţiona asupra corpurilor naturale. Tocmai de aceea mecanica raţională constituie modelul însuşi al ştiinţei, întruchiparea sa reală, celelalte ştiinţe nefiind decît vagi şi timide manifestări ale unui demers care este cu atît mai sigur cu cît domeniul explorat este mai inert şi dezorganizat.

Pe de altă parte, analiza bergsoniană nu zăboveşte, aşa cum făcuse Diderot, opunînd inerţiei masei fizice activitatea materiei, sau cum a făcut Stahl, opunînd organizarea viului, instabilităţii compuşilor materiali din care este constituit. Critica fizicii s-a clarificat în acelaşi timp cu formalismul fizic şi toate reproşurile, dispersate, se pot concentra de-acum înainte în unul singur, celelalte nefiind decît consecinţele acestuia: inteligenţa ştiinţifică nu poate înţelege *durata*, pe care o reduce la o succesiune de stări instantanee legate printr-o lege de evoluţie deterministă.

---

[93] Bergson H., *op. cit.*, p. 1286.

Aşadar, „timpul este fie o invenţie, sau nu este absolut nimic“ [94]; natura înseamnă schimbare, o elaborare continuă de noutăţi, totalitatea creîndu-se în condiţiile unei dezvoltări esenţialmente deschise, fără o finalitate predeterminată. „Viaţa progresează şi durează“ [95]. Din această dezvoltare inteligenţa nu poate sesiza decît ceea ce poate imobiliza sub formă de elemente manipulabile şi calculabile.

Fizica „se mărgineşte să numere simultaneităţile între evenimentele constitutive ale acestui timp şi poziţiile mobilului T pe traiectoria sa. Ea desprinde aceste evenimente din întreg, care în fiecare clipă capătă o formă nouă transmiţîndu-i ceva din noutatea sa. Ea le consideră în stare abstractă, aşa cum s-ar afla în afara viului, adică într-un timp ce se desfăşoară în spaţiu. Ea nu reţine decît evenimentele sau sistemele de evenimente ce pot fi izolate astfel, fără a li se aduce modificări profunde, deoarece numai acestea se pretează la aplicarea metodei sale. „Fizica noastră datează din ziua în care s-a ştiut cum se pot izola asemenea sisteme“ [96].

Cînd este vorba de a înţelege durata în sine, ştiinţa este neputincioasă; este nevoie de intuiţie, de o „viziune directă a spiritului prin spirit“ [97]; „schimbarea pură, durata reală, este de natură spirituală sau impregnată de spiritualitate. Intuiţia este ceea ce atinge spiritul, durata, schimbarea pură“ [98].

Putem oare vorbi de un eşec al bergsonismului, în acelaşi mod în care nu vom ezita să vorbim de eşec în cazul filozofiei naturii postkantiene? Desigur că da, în sensul în care metafizica fondată pe intuiţia pe care voia s-o creeze Bergson nu a luat naştere. Nu în sensul în care Bergson — contrar lui Hegel — a avut marea

---

[94] Bergson H., *L'Évolution créatrice* în *Oeuvres*, p. 784.
[95] Bergson H., *Op. cit.*, p. 538.
[96] Bergson H., *Op cit.*, p. 784.
[97] Bergson H., *La Pensée et le mouvant*, *op. cit.*, p. 1273.
[98] Bergson H., *op. cit.*, p. 1274.

șansă de a judeca o știință care în general era stabilizată, fiind vorba de știința clasică în momentul ei de apoteoză; bilanțul critic făcut de Bergson acestei științe clasice a putut în acest fel să rămînă inteligibil pentru noi cu această rezervă că el nu se mai prezintă în ochii noștri ca o definiție a limitelor eterne ale cercetării științifice, ci ca un program ce începe a fi realizat prin metamorfozele actuale ale științei. Știm astăzi, îndeosebi, că într-adevăr, timpul-mișcare criticat de Bergson nu este suficient decît pentru o clasă restrînsă de sisteme dinamice simple. Dar nu am ajuns la această concluzie printr-o abandonare a demersului științific, nici a gîndirii abstracte, ci prin descoperirea limitărilor intrinsece ale conceptelor elaborate de știința clasică. Activitate intelectuală pe care fără îndoială Bergson nu ar fi disprețuit-o, el care atribuia o valoare atît de importantă creării matematicilor infinitesimale: după el, matematicienii și fizicienii descriind, nu „ceea ce este făcut" ci dimpotrivă, „ceea ce se face", adică mișcarea continuă, au realizat un minunat efort „de inversiune" a direcției obișnuite a activității de gîndire. Așadar cel puțin în acest caz, nevoile intuiției și nu ale gîndirii au fost la rădăcina „celei mai puternice metode de investigare de care dispune spiritul uman" [99].

Cu toate că Bergson a prezentat analiza matematică infinitesimală ca model de ceea ce ar trebui să facă metafizica, ceea ce desigur distruge ideea unei opoziții fundamentale între știință și metafizică sau între gîndire și intuiție—nu putem nega că la acest filozof domină totuși aceeași trăsătură pe care am relevat-o la majoritatea criticilor postkantieni în domeniul științei. Ca și aceștia din urmă, el descrie într-un mod lucid și pertinent implicațiile esențiale ale științei din epoca sa, — identificînd în același timp această stare istorică în teoriile științifice, cu știința în general. El frînează astfel activitatea științifică, atribuin-

[99] Bergson H., *op. cit.*, p. 1422.

du-i de drept limitele sale istorice de fapt, prin aceasta punîndu-se în postura de a defini odată pentru totdeauna domeniile respective și demersurile proprii ale științei și ale celorlalte activități culturale și filozofice și, prin urmare, acel *statu quo* ce trebuie respectat. Împărțire statică între demersuri considerate ca iremediabil antagoniste, putînd spera doar ca ele să coexiste fără a încerca să se distrugă.

Mai este oare posibilă o filozofie a naturii care să nu se elaboreze împotriva unei științe căreia îi neagă posibilitățile de invenție și pretinde să-i definească limitele odată pentru totdeauna? Maurice Merleau-Ponty a subliniat gravitatea consecințelor partajului steril care ar lăsa natura în grija științei, în timp ce filozofia și-ar rezerva subiectivitatea umană și istoria: „Abandonul în care a ajuns filozofia naturii acoperă o anumită concepție a spiritului, a istoriei și a omului. Ne permitem să le prezentăm ca negativitate pură. Revenind la filozofia naturii, dimpotrivă, nu ne îndepărtăm decît în aparență de aceste probleme preponderente, căutînd să le pregătim o soluție care să nu fie nematerialistă“ [100].

Știm că în momentul în care amintea aceste scopuri, Marleau-Ponty vedea în cosmologia lui Whitehead o încercare importantă în domeniul părăsit la acea vreme al filozofiei naturii. Vom sublinia aici cîteva din aspectele filozofiei whiteheadiene cu adevărat fascinantă atît prin demersul său hotărît prekantian, cît și prin formidabila ambiție de coerență care traversează și constituie opera sa majoră, *Process and Reality*. Whitehead ne îndeamnă să reluăm legătura cu adevăratul sens al filozofiilor clasice. Dincolo de dezacorduri și de îndoieli, aceste filozofii posedă avantajul de a se baza pe experimentări conceptuale riguroase, dominate de o nevoie acută pentru coerență.

---

[100] *Résumés de Cours 1952—1960*, Paris, Gallimard, 1968, p. 91.

Whitehead se străduia să înțeleagă experiența umană ca un proces aparținînd naturii, ca o existență fizică. Această preocupare l-a condus ca, pe de o parte, să repudieze tradiția filozofică care definește experiența subiectivă mai întîi în termeni de conștiință, de reflexie și de percepție, iar pe de altă parte să conceapă orice existență *fizică* în termeni de dorință, senzație, emoție, scop, decizie, adică să intre în luptă cu ceea ce el numește „materialismul științific" izvorît din știința secolului al XVII-lea.

La fel ca și Bergson, Whitehead a subliniat, prin urmare, insuficiența schemei teoretice izvorîte din știința secolului al XVII-lea. „Secolul al XVII-lea a produs în cele din urmă o schemă de gîndire științifică pusă la punct de către matematicieni pentru matematicieni. Marea caracteristică a spiritului matematic este capacitatea de a manipula abstracțiuni; și de a forma succesiuni de raționamente limpezi și demonstrative, cu totul satisfăcătoare atîta vreme cît dorim să ne gîndim la aceste abstracțiuni. În urma succesului enorm al abstracțiunii științifice, care pe de o parte produce materia, cu localizarea sa simplă în spațiu și în timp, iar pe de altă parte produce spiritul, care percepe, suferă și raționează dar nu interferează, sarcina de a le accepta ca cea mai concretă expresie a faptelor, a fost trecută filozofiei. Din acel moment a fost distrusă filozofia modernă. Ea a oscilat într-un mod complex între trei extreme. Există dualiști care acceptă materia și spiritul pe picior de egalitate, și cele două categorii de moniști, aceia care pun spiritul în materie și cei care introduc materia în spirit. Dar jonglarea cu abstracțiuni nu va putea niciodată să permită depășirea confuziei inerente determinată de atribuirea unui caracter concret nepotrivit, schemei teoretice din „secolul al XVII-lea" [101]. Pentru Whitehead este vorba totuși de o situație istorică și nu de un destin; nici știința, nici cultura nu sînt destinate să rămînă prizonierele acestei confuzii.

---

[101] Whitehead A. N., *Science in the Modern World*, p. 55.

Am pus întrebarea: este oare posibilă o filozofie a naturii care să nu fie îndreptată împotriva științei? Cosmologia lui Whitehead reprezintă pînă astăzi cea mai ambițioasă tentativă pentru o asemenea filozofie. Whitehead nu vedea nici o opoziție esențială între știință și filozofie, de altfel opera sa este de la un capăt la altul opera unui matematician: pentru el se punea problema să definească domeniul problematic în interiorul căruia problema experienței umane și a proceselor fizice putea să fie pusă cu coerență, să determine condițiile proprii pentru rezolvarea problemei; era vorba de a formula ansamblul minimal de principii necesare pentru a caracteriza orice existență fizică, de la rocă pînă la gînditor. Și tocmai importanța universală a cosmologiei sale face ca Whitehead să o definească ca o cosmologie filozofică. În timp ce fiecare teorie științifică selecționează și extrage din complexitatea lumii un ansamblu particular de relații, în ce privește filozofia, aceasta nu poate favoriza nici o regiune din experiența umană; printr-o experimentare a imaginației ea trebuie să construiască o coerență în care să-și găsească loc toate dimensiunile acestei experiențe, fie că se referă la fizică, la fiziologie, la psihologie, la biologie, la etică, la estetică etc.

Astfel, Whitehead a făcut o distincție atentă între abstracția științifică în general, inclusiv abstracția reușită de fizica veacului al XVII-lea și generalizările pe care aceasta le-a favorizat. Totuși, el nu a putut merge mai departe căci numai o știință mai bogată în concepte și mai diversificată ar fi putut participa la dialogul visat de el între demersul care extrage și selecționează și acela care caută coerența, la dialogul între știință și filozofie.

Într-adevăr, Whitehead, mai limpede poate decît oricare altul, a înțeles că niciodată devenirea creativă a naturii, adică faptul ultim și ireductibil pe care-l presupune orice existență fizică, nu ar putea fi gîndit dacă elementele care compun

această natură ar fi fost definite ca entități individuale permanente, menținîndu-se în această identitate de-a lungul schimbărilor și interacțiunilor. Pe de altă parte însă, a prezenta permanența ca ceva iluzoriu, a nega ființa în numele devenirii, entitățile în numele unui flux continuu și în permanentă schimbare, însemna o nouă cădere în capcana ce se întindea în fața oricărei filozofii: „a te complace în strălucita acțiune de a explica, negînd ceea ce este de explicat" [102]. Pentru Whitehead sarcina filozofiei avea să fie de a reconcilia permanența și devenirea, de a gîndi lucrurile ca procese, de a gîndi devenirea ca formată din entități identificabile, din entități individuale care se nasc și mor. Fără a intra în nici un detaliu în legătură cu sistemul lui Whitehead, trebuie doar să precizăm că el dezvăluie solidaritatea între o filozofie a *relației* — nici un element din natură nu este suportul permanent al unor relații schimbătoare, fiecare își trage identitatea din relațiile cu celelalte — și o filozofie a *devenirii înnoitoare* — fiecare element ce există unifică în procesul genezei sale multiplicitatea care formează lumea și adaugă la această multiplicitate un ansamblu suplimentar de relații. La nașterea fiecărei entități noi, *„the many become one and are increased by one"* [103].

În concluziile acestei cărți vom regăsi problema lui Whitehead, aceea a permanenței și a schimbării, de data aceasta pusă în fizică, și, la rîndul nostru, vom fi determinați să evocăm entitățile constituite intrinsec prin interacțiunea lor ireversibilă cu lumea; fizica de astăzi descoperă într-adevăr necesitatea de a afirma în același timp *deosebirea* și *interdependența* unităților și a relațiilor;

---

[102] Whitehead A. N., *Process and Reality, An Essay in Cosmology*, The Free Press, New York, Mac Millan, 1969, p. 20.

[103] Whitehead A. N., *op. cit.*, p. 26. „Multiplul devine o unitate și crește cu o unitate".

la rîndul ei, fizica recunoaşte că, pentru ca o interacţiune să fie reală, trebuie în acelaşi timp, ca „natura" lucrurilor ce se află în relaţie să fie un produs al acestor relaţii, şi ca, la rîndul lor, relaţiile să fie produse ale „naturii" lucrurilor (a se vedea concluziile, 4). Totuşi, în momentul în care Whitehead scria lucrarea sa *Process and Reality*, ideea particulelor elementare instabile, a căror existenţă fizică *implică* devenirea ireversibilă, se afla încă foarte departe de fizică, iar filozofia lui Whitehead nu a stîrnit ecou decît în biologie [104].

Ce lecţie putem desprinde din această rapidă explorare a cîtorva teme filozofice? Dacă pe căi diferite ştiinţa şi filozofia trebuie să reuşească să se întîlnească punînd capăt unei opoziţii care sfarmă cultura noastră, dacă ştiinţa trebuie să reuşească să apară ca un demers la care cultura este parte componentă, şi nu ca o operaţie îndepărtată şi paralizantă, inaccesibilă, trebuie să ia sfîrşit domnia abstracţiei, care imobilizează obiectul în faţa subiectului. Natura, obiect al ştiinţei, a produs în acelaşi timp şi pe oamenii capabili de ştiinţă: această nevoie de înţelegere coerentă, desigur, nu trebuie să găsească în teoriile ştiinţi-

---

[104] Joseph Needham şi C. H. Waddington au recunoscut influenţa lui Whitehead în cercetările lor pentru o descriere pozitivă a organismului ca întreg; Waddington C. H., "The Practical Consequences of Metaphysical Beliefs on a Biologist's Work" în *Towards a Theoretical Biology*, vol. 2, Edinburgh, University Press, 1969, şi *The Ethical Animal*, Midway Reprint, Chicago, University Press, 1975; Needham J., "Biologist's View of Whitehead's Philosophy" în *Time, the Refreshing River*, Londra, Allen and Unwin, 1943.

Nu vom explora aici căile fecunde ale intervenţiei directe a unei gîndiri matematice inventive în ştiinţa viului. Recomandăm strălucitele analize pe care René Thom le consacră metodei sale, îndeosebi în legătură cu posibilitatea ca o teorie generală abstractă să ajute la răsturnarea categoriilor prin enunţarea cărora omul de ştiinţă, ca oricare altul, poate, aproape inconştient, să descompună realul.

fice un răspuns unic și suficient, ci trebuie să capete sens în cadrul științei, să poată fi înțeleasă de către oamenii de știință ca atare.

În realitate, această cerință esențială este susceptibilă de a căpăta forme foarte precise. Îndeosebi nici o teorie științifică nu ar trebui, prin ea însăși, să fie suficientă pentru a justifica o reducere a timpului asemănătoare aceleia pe care o face dinamica clasică. A nega timpul, adică a-l reduce la desfășurarea deterministă a unei legi reversibile, înseamnă a renunța la posibilitatea unei concepții asupra naturii care să o definească ca fiind capabilă de a produce ființele vii și în mod singular omul; înseamnă a ne condamna la alternativa între o filozofie antiștiințifică și o știință alienantă.

Am arătat în mai multe rînduri că știința noastră nu mai este știința clasică criticată de Bergson. Ea nu mai era aceeași de cîtăva vreme, dar fără știrea noastră. Știința matematizată a lumii complexe s-a născut în veacul al XIX-lea cu termodinamica; în acel moment a intrat în fizică problema devenirii. Dar, după cum vom vedea, primele efecte ale acestui eveniment au fost nu apariția unor răspunsuri noi ci a unor paradoxuri, a unor dificultăți, și instabilizarea discretă a categoriilor elaborate cel mai bine. Astăzi putem arunca o privire retrospectivă și să ne dăm seama că ceea ce s-a degajat din mijlocul a tot ce s-a trăit în confuzie, nu a reprezentat decît primul răspuns științific la problema complexității naturale, precum și la transformarea culturală și tehnică a lumii, la moartea lumii clasice.

CARTEA A II-A

ŞTIINŢA COMPLEXULUI

Capitolul IV

Energia şi era industrială

1. Căldura, rivală a gravitaţiei

„Ignis mutat res", această învăţătură fără vîrstă, invocată prin deviza vechilor chimişti făcea din chimie, încă de la origine, o ştiinţă a focului. Această ştiinţă a focului a fost recunoscută ca ştiinţă experimentală în cursul secolului al XVIII-lea, înainte de a antrena în însăşi inima ştiinţei moderne revenirea la ceea ce ştiinţa nega în numele liniştitelor traiectorii ale dinamicii, ireversibilitatea şi complexitatea.

Focul transformă lucrurile, permite corpurilor să intre în reacţie chimică, să se dizolve, să se dilate, să se topească sau să se evapore şi, bineînţeles, permite combustibilului să ardă cu o puternică degajare de căldură şi flăcări. Din toate acestea, pe care oricine le ştie şi le ştia, secolul al XIX-lea va selecţiona următoarele: combustia degajă căldură şi căldura poate antrena o variaţie de volum, adică, poate să producă un efect

mecanic. Din acel moment, focul este capabil să determine mișcarea mașinilor de un gen nou, mașinile termice care, la aceeași epocă, determină nașterea societății industriale.

Era vorba de o noutate tehnică. Putem da în acest sens o mărturie anecdotică [105]. Adam Smith lucra la opera sa *Avuția națiunilor*, adică strîngea date asupra perspectivelor și determinanților dezvoltării industriale, la aceeași universitate unde, în același timp, James Watt lucra la perfecționarea mașinii cu abur. Cu toate acestea, Adam Smith nu întrevede pentru cărbune altă folosire decît aceea de a-i încălzi pe muncitori. În secolul al XVIII-lea, vîntul, apa, animalele și mașinile simple puse în mișcare de acești factori, reprezintă în cea mai mare parte singurele surse de forță motrice de care industria are nevoie din ce în ce mai mult.

Răspîndirea rapidă a mașinilor termice englezești este însoțită de o nouă întrebare științifică, de un nou mod de a pune problema transformărilor pe care căldura le produce în corpuri. Întrebarea din care s-a născut termodinamica nu privește *natura* căldurii sau acțiunea ei asupra corpurilor, ci *utilizarea* acestei acțiuni. Este vorba de a se ști în ce condiții căldura produce „energie mecanică", adică, în ce condiții poate să determine mișcarea unui motor [106].

Este întotdeauna tentant și uneori folositor de a utiliza un eveniment simbolic, inaugural, prima manifestare efectivă influentă și reperabilă în

---

[105] Jouvenel B. de, *La civilisation de puissance*, Paris, Fayard, 1976, p. 11.

[106] Cu privire la noutatea problemei fizico-chimice, vezi Scott W. L., *The Conflict between Atomism and Conservation Theory*, cartea a II-a și pentru istoria dezvoltării științei despre căldură în contextul erei industriale, Cardwell D. S. L., *From Watt to Clausius*, Londra, Heinemann, 1971. Acești doi autori ne permit să sesizăm coincidența între nevoile determinate de urgența industrială și simplificarea pozitivistă a problemelor acumulate de secolul al XVIII-lea; astfel, un concept ca acela al presiunii se va găsi de acum înainte definit prin procedeul experimental care permite măsurarea ei.

legătură cu deschiderea unui nou cîmp al posibilului. În ce privește știința sistemelor complexe, fără nici o ezitare fixăm începutul ei încă în 1811. În acel an în care adepții lui Laplace triumfă și domină știința europeană, baronul Jean-Joseph Fourier, prefect al departamentului Isère, obține premiul Academiei pentru tratarea teoretică a propagării căldurii în corpurile solide. Cu toate că Laplace, Lagrange și discipolii lor și-au unit forțele pentru a critica noua teorie, în cele din urmă ei au trebuit să se încline [107]. Visul laplaceian în momentul său de maximă glorie a suferit un prim eșec: de acum înainte există o teorie fizică, din punct de vedere matematic tot atît de riguroasă ca și legile mecanice ale mișcării, și cu totul străină lumii newtoniene; de acum înainte fizica matematică și știința newtoniană au încetat de a mai fi sinonime.

După cum proclama însuși Fourier, propagarea căldurii între două corpuri cu temperaturi diferite este un fenomen *sui generis* pe care ar fi iluzoriu și gratuit să vrei să-l reduci la interacțiuni dinamice între mase vecine. Legea enunțată de Fourier, de o elegantă simplitate, spune într-adevăr că *fluxul de căldură între două corpuri este proporțional cu gradientul de temperatură dintre aceste două corpuri.* Cum să se pună acest proces de propagare în relație cu forțele și accelerațiile dinamice? Dar, pe de altă parte, este vorba de o lege tot atît de generală ca și legile newtoniene: ea descrie un fenomen tot atît de universal ca și cel al gravitației. Orice corp posedă o masă și se află deci în interacțiune gravitațională cu toate celelalte corpuri din Univers; dar orice corp este de asemenea capabil să primească, să acumuleze și să transmită căldura și, ca atare, el este sediul unui ansamblu de procese legate de acumularea și propagarea căldurii.

---

[107] Herivel J., *Joseph Fourier, the Man and the Physicist* Oxford, Clarendon Press, 1975. În această biografie Herivel dezvăluie un amănunt curios: Fourier ar fi contractat în Egipt o boală care se manifesta prin pierdere continuă de căldură...

Formularea legilor asupra difuziei căldurii a avut mai mult decît o semnificație simbolică: în Franța ca și în Anglia, această formulare a fost punctul de plecare al unor evenimente ale căror urmări ajung pînă la noi.

În Franța, eșecul visului laplaceian a încurajat o compartimentare pozitivistă a științei, recent analizată în mai multe texte de către Michel Serres [108]. Căldura și gravitația, două fenomene universale coexistă în fizică și, ceea ce e mai rău, așa cum va recunoaște Auguste Comte, ele sînt antagoniste: gravitația acționează asupra unei mase inerte care se supune acesteia fără a fi afectată altfel decît prin mișcarea pe care o capătă și o transmite; căldura *transformă* materia, determină schimbări de stare, modificări ale unor proprietăți intrinsece. Bazat pe această opoziție, care reia unele din temele de protest ale chimiștilor antinewtonieni din secolul al XVIII-lea, și ale tuturor celor care subliniaseră diferența dintre comportarea pur spațio-temporală atribuită masei și activitatea specifică a materiei, pozitivismul va construi o clasificare a științelor puse sub semnul comun al ordinii, adică al echilibrului. De acum înainte, la echilibrul dinamic între forțe se adaugă echilibrul termic, deoarece propagarea căldurii tinde întotdeauna să stabilească o distribuție omogenă a temperaturilor în corpul în care se produce.

În Anglia, teoria propagării căldurii nu a avut ca efect abandonarea încercărilor de a uni cîmpul cunoașterii, și afirmarea specificității disciplinelor, bazate fiecare dintre ele pe fapte ireductibile. Dimpotrivă, teoria propagării avea să constituie punctul de plecare al unei interogări asupra ireversibilității, care de atunci încolo nu a înce-

---

[108] Se poate cita în special introducerea la opera *Phylosophie première* de Auguste Comte (Paris, Hermann, 1975); „Auguste Comte, autotradus în enciclopedie", în *La Traduction* (Paris, Minuit, 1974) și secțiunea „Nuage" în *La Distribution* (Paris, Minuit, 1977).

tat să răstoarne compartimentările și clasificările [109].

Fiecare știa că legea lui Fourier dacă este aplicată unui corp izolat, caracterizat printr-o distribuție neomogenă a temperaturilor, descrie stabilirea progresivă a unui echilibru termic: propagarea căldurii are drept efect de a egaliza progresiv și într-o manieră monotonă distribuirea temperaturii pînă la omogenitatea finală. Fiecare știa că această lege este ireversibilă în sensul în care căldura posedă această proprietate fundamentală, după expresia folosită de Boerhaave, de a „se răspîndi" întotdeauna, de a se egaliza, de a nu se concentra niciodată și de a nu crea spontan diferențe de temperatură. Știința fenomenelor complexe punînd în joc interacțiunea unui număr foarte mare de particule, și asimetria temporală, se găseau astfel *de facto* legate încă de la origini. Pentru a înțelege felul în care această legătură a fost *recunoscută* și integrată de fizică, trebuie să reluăm dezvoltarea științei căldurii și studiul diferitelor surse care o alimentează: anumite metode de fizică matematică, de experimentare în laborator, de dezvoltare tehnologică, anumite proiecte metafizice.

În același mod ca și mecanica, știința căldurii implică de asemenea o concepție asupra *obiectului* fizic și o definiție a *motoarelor*, cu alte cuvinte, o identificare a cauzei și efectului într-un mod specific de producere a lucrului mecanic. Să clarificăm această dublă specificitate.

A studia comportarea fizică legată de căldură înseamnă a defini un sistem, nu ca în dinamică prin poziția și viteza constituenților săi (într-un

---

[109] Smith C., "Natural Philosophy and Thermodynamics: William Thomson and the Dynamical Theory of Heat" în *The British Journal for the Philosophy of Science*, vol. 9, 1976, p. 293—319, și Crosland M. și Smith C., "The transmission of Physics from France to Britain, 1800—1840" în *Historical Studies in the Physical Science*, vol. 9, 1978, p. 1—61.

volum de gaz sau un fragment de solid de ordinul a 1 cm^3 se află cam 10^{23} molecule), ci printr-un ansamblu de parametri macroscopici. Acești parametri definesc compoziția sistemului și de asemenea (condițiile la limită) relațiile sistemului cu restul lumii, definite de acum înainte ca „mediu". Să luăm exemplul căldurii specifice, una din proprietățile fundamentale ale oricărui sistem fizico-chimic. Căldura specifică măsoară cantitatea de căldură ce trebuie dată unui sistem cu o compoziție chimică determinată pentru a ridica cu un grad temperatura sa, menținîndu-i fie volumul, fie presiunea, la o, valoare constantă. Pentru a studia căldura specifică la volum constant, se acționează asupra sistemului prin intermediul condițiilor sale la limită; se modifică unele din aceste condiții, păstrîndu-se invariante celelalte; eventual se dă sistemului o cantitate de căldură determinată, menținîndu-se volumul constant, dar lăsînd presiunea să varieze liber. Căldura specifică permite să se prevadă cum va reacționa sistemul la această interacțiune cu mediul.

În general, prin intermediul condițiilor la limită, este posibil să se exercite asupra unui sistem material o acțiune *mecanică* (de exemplu, un dispozitiv cu piston poate permite să se fixeze presiunea *sau* volumul sistemului), *termică* (este posibil de a se ceda sau de a se lua de la un sistem o cantitate determinată de căldură sau prin schimburi calorice este posibil să fie adus la o temperatură determinată), sau chiar o acțiune *chimică* (circulație de produse reactive și de produse de reacție între sistem și mediu). Presiunea, volumul, compoziția chimică, temperatura și cantitatea de căldură constituie parametri fizico-chimici clasici cu ajutorul cărora pot fi definite proprietățile cele mai generale ale sistemelor materiale. *Termodinamica* este știința variațiilor corelate ale acestor proprietăți. Astfel, obiectul termodinamic implică, în raport cu obiectul dinamic, un punct de vedere nou asupra transformărilor

fizice. Nu mai este vorba de a observa o evoluție, de a o prevedea calculîndu-se efectul interacțiunilor dintre elementele sistemului. Este vorba de a se *acționa* asupra sistemului, de a prevedea reacțiile sale la o modificare *impusă*. Descrierea se referă la schimbările suferite de starea macroscopică ca atare, la modul în care variațiile unui *parametru* influențează asupra valorii tuturor celorlalți.

Pe de altă parte, un *motor* mecanic se mărginește să restituie, sub formă de travaliu, energia potențială care i-a fost conferită de o precedentă interacțiune cu lumea: cauza și efectul sînt de aceeași natură și în mod ideal echivalente. Într-un motor termic, schimburile de căldură cu lumea antrenează pentru un sistem material dat o *schimbare de stare*, ceea ce implică, între altele, o schimbare a proprietăților mecanice: dilatare sau contracție. Lucrul mecanic, mișcarea pistonului, rezultă deci dintr-o transformare intrinsecă a sistemului și nu dintr-o simplă transmitere a mișcării.

Astfel, motorul termic nu este un dispozitiv pasiv, el *produce* cu adevărat mișcare [110]. Aceasta este la originea problemei noi, puse de calculul randamentului său: după o schimbare de stare producătoare de mișcare, pentru a se *restaura* capacitatea sistemului de a produce mișcare pe bază de căldură, trebuie prevăzut un *al doilea* proces care readuce sistemul la starea sa inițială, o a doua schimbare de stare care să *compenseze* schimbarea producătoare de mișcare. Într-un motor termic acest al doilea proces care este totodată echivalent și invers cu primul din punct de vedere al transformării sistemului motor, este o *răcire* care permite sistemului să-și regăsească temperatura, presiunea și volumul inițiale, cedînd căldură în lumea înconjurătoare.

---

[110] Aceasta a fost în mod deosebit subliniat de Michel Serres. A se vedea referințele citate la p. 154 și foarte frumosul "Turner traduit Carnot" (în *La Traduction*).

Problema randamentului motoarelor termice, a raportului dintre lucrul produs și căldura ce trebuie dată sistemului *pentru cele două procese care se compensează*, este acel punct pe care îl căutăm, prin care noțiunea de proces ireversibil s-a introdus în fizică. Vom arăta în continuare ce importanță a avut în acest episod crucial legea lui Fourier și contextul cultural și tehnic. Dar, în mod cert, noua unificare a fizicii prin principiul conservării energiei a jucat rolul hotărîtor.

2. Principiul conservării energiei

Am explicat rolul esențial jucat de energie în dinamică: Hamiltonianul, suma energiilor cinetică și potențială exprimate în variabile canonice, generează evoluția acestor variabile, conservîndu-se totuși el însuși în cursul acestei mișcări. Evoluția dinamică modifică doar importanța respectivă a celor două energii.

La începutul secolului al XIX-lea [111] s-a produs o efervescență experimentală fără precedent. Au fost descoperite în laborator „efecte noi" într-un număr foarte mare și acestea au impus fizicienilor ideea că mișcarea nu produce doar modificări ale poziției spațiale a corpurilor, cu alte cuvinte, ale valorii energiei potențiale. Într-adevăr, aceste procese izolate în laborator, constituiau o adevărată rețea care, în cele din urmă, a conectat toate diferitele domenii experimentale care proliferaseră recent în fizică, cu cele de multă vreme constituite ca discipline de sine stătătoare, ca de exemplu mecanica. Mișcarea, îndeosebi era capabilă să provoace fiecare din fenomenele studiate în cursul acestor experiențe.

---

[111] Pentru ceea ce urmează, vezi Elkana Y., *The Discovery of the Conservation of Energy*, precum și articolul remarcabil al lui Thomas Kuhn "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery" (publicat inițial în *Critical Problems in the History of Science*, Edit. Clagett M. și republicat în Kuhn T., *The Essential Tension*, Chicago, The University Press, 1977).

Această conexiune a diferitelor cîmpuri a fost experimentată de Galvani fără nici un fel de premeditare. Pînă atunci, electricienii nu cunoșteau decît sarcinile electrice statice. Galvani, cu ajutorul unei broaște, a creat primul circuit electric experimental. Curînd, Volta avea să recunoască în contracțiile „galvanice" ale broaștei efectul trecerii unui *curent* electric. Încă din 1800 Volta pune la punct o pilă chimică: reacțiile chimice pot produce electricitate. Urmează electroliza: curentul electric poate să modifice afinitățile chimice, să provoace reacții chimice. Dar curentul provoacă de asemenea producerea luminii și a căldurii și, în anul 1820, Oersted demonstrează că are efecte magnetice. În 1822 Seebeck stabilește că, invers, căldura poate produce curent, iar Peltier, în 1834, arată cum poate fi răcit un corp prin electricitate. În sfîrșit, în 1831 Faraday pune în evidență producerea curentului cu ajutorul efectelor magnetice.

În cele din urmă, în 1847, a fost făcut un pas decisiv de către Joule: conexiunea între chimie, știința despre căldură, electricitate, magnetism și biologie este interpretată ca o *conversiune.* Conversiunea generalizează ceea ce se produce în cursul mișcărilor mecanice: prin intermediul tuturor fenomenelor studiate în laborator se postulează că „ceva" se conservă cantitativ și totuși își schimbă forma calitativă. Pentru a defini raporturile între aceste forme calitative, Joule definește un *echivalent* general al transformărilor fizico-chimice, care dă posibilitatea de a se măsura mărimea ce se conservă și care va fi identificată [112] mai tîrziu ca „energie". El stabilește prima echivalență măsurînd lucrul mecanic necesar pentru a ridica cu un grad temperatura unei cantități de apă date. Știința cantitativă a proceselor fizico-

---

[112] Elkana s-a preocupat să urmărească sedimentarea lentă a conceptului de energie (vezi cartea sa, precum și articolul "Helmholtz's Kraft an Illustration of Concepts in Flux" în *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 2, 1970, p. 263—298.)

chimice este de acum înainte recunoscută în unitatea sa. Conservarea unei mărimi fizice, energia, de-a lungul transformărilor pe care le pot suferi sistemele fizice, chimice, biologice, va fi de acum înainte pusă la baza a ceea ce noi putem numi știința sistemelor complexe. Ea va constitui firul conducător care va permite să explicăm în mod coerent multiplicitatea proceselor naturale.

Nu este nici o mirare în faptul că principiul conservării energiei a căpătat o extremă importanță în ochii fizicienilor secolului al XIX-lea. Pentru mulți dintre ei nu numai diferitele domenii experimentale, ci natura întreagă se regăsește astfel unificată. Joule exprimă această convingere în contextul cultural propriu Angliei. „În realitate, fenomenele naturale fie că sînt mecanice, chimice sau vitale, consistă dintr-o conversiune continuă a atracției care traversează spațiul, a forței vii (N.B., energia cinetică) și a căldurii, unele în altele. Și astfel, este menținută ordinea în Univers — nimic nu este perturbat, nimic nu se pierde vreodată, iar mașinăria întreagă, oricît de complicată ar fi, funcționează cu calm și armonie. Și cu toate că, precum în vedeniile lui Iezechiel, «roțile parcă erau vîrîte una în alta», iar fiecare lucru poate să apară complicat și încurcat, în confuzia și întrepătrunderea aparentă a unei diversități aproape nesfîrșite de cauze, de efecte, conversiuni și înlănțuiri, este păstrată cea mai perfectă regularitate —, totul fiind guvernat de suverana voință a lui Dumnezeu“ [113].

Cazul germanilor Helmholtz, Mayer, Liebig — toți trei aparținînd unei culturi în care tipul de argumentare al lui Joule era respins în numele unei practici strict pozitive, — este încă mai frapant. În momentul în care au făcut descoperirea lor, nici unul din acești trei cercetători nu era fizician propriu-zis. Dimpotrivă, toți trei se ocu-

---

[113] Joule J., „Matter, Living Force and Heat” în *The Scientific Papers of James Prescott Joule*, vol. 1, Londra, Taylor and Francis, 1884, p. 265—276.

paseră cu fiziologia respirației: trebuie spus că pornind de la Lavoisier, fiziologia respirației constituia o problemă model, prima în care funcționarea ființei vii era descrisă în termeni de fizică și chimie, — combustia oxigenului, degajarea de căldură, travaliul muscular; era prin urmare tipul însuși de problemă ce avea să-i atragă pe fiziologi și pe chimiști ostili speculațiilor romantice, dornici să participe la construirea unei științe pozitive. Totuși, citind modul în care acești trei cercetători „au ajuns" la concluzia că mai întîi respirația și apoi natura întreagă sînt supuse unei echivalențe fundamentale, se poate conchide că trecutul filozofic al Germaniei îi „impregnase" realmente cu o idee total străină cunoașterii strict pozitive pe care pretindeau că o practică: ideea că natura în totalitatea ei și fără nici un rest este unificată printr-o legitate generală, printr-un principiu de cauzalitate unic.

Biografia lui Mayer este cea mai spectaculoasă [114]: ca tînăr medic în coloniile olandeze din Java el a observat la unii din pacienții săi că sîngele venos are o culoare roșie-aprinsă, trăgînd concluzia că, deoarece la tropice este mai cald, locuitorii consumă mai puțin oxigen pentru a-și menține temperatura corpului și aceasta se manifestă prin culoarea roșu-aprins a sîngelui. Plecînd de la această observație, Mayer construiește un bilanț între, pe de o parte, consumul de oxigen pe care l-am numi sursa de energie și, pe de altă parte, consumurile legate de menținerea temperaturii în ciuda pierderilor termice și a muncii manuale. Acest bilanț depășește cu mult observația de la început: culoarea sîngelui ar fi putut

---

[114] Această relatare se poate citi în cartea lui Ostwald, *Les grands hommes;* cartea se bazează pe analiza biografică a unor cunoscuți oameni de știință din secolul al XIX-lea, pentru a descoperi în ce condiții are loc randamentul optim al oamenilor de știință; aceasta ca aplicare a doctrinei energetiste și ținînd seama de pericolul de epuizare și cădere nervoasă la capătul oricărui efort intens. Semnalăm interpretarea îndrăzneață pe care o dă acestei cărți J. Lacan (*L'Évolution psychiatrique*, fasc. II, 1948, p. 72.)

foarte bine să fie legată de „lenevia" pacientului lui Mayer. Dar bilanțul însuși nu constituie decît prima generalizare, deoarece Mayer „sare" pe concluzia că aici e vorba doar de o manifestare particulară a prezenței unei forțe unice și indestructibile ce se află la baza tuturor fenomenelor din natura vie și nevie [115].

Această „predispoziție" de a recunoaște în transformările naturale produsul unei realități subiacente, care se menține identică cu ea însăși de-a lungul transformărilor sale, evocă în mod irezistibil o formă de kantianism, la fel ca și o altă idee a unora dintre fiziologi, la care vom face doar aluzie: chiar dacă o forță „vitală" se află la baza funcționării ființelor vii, *obiectul* fiziologiei rămîne totuși pur fizico-chimic. Kantianismul care a ratificat forma sistematică pe care a căpătat-o fizica matematică de-a lungul secolului al XVIII-lea, a putut deveni, cum se poate vedea, una din rădăcinile reînnoirii fizicii în cursul secolului al XIX-lea [116].

Helmholtz, cel mai reprezentativ dintre oamenii de știință care a participat la această reînnoire a recunoscut de altfel foarte deschis această „influență" [117]. Pentru el, principiul conservării energiei nu era decît încarnarea, în interiorul fizicii, a cerinței generale pentru înțelegerea naturii, cerință prealabilă oricărei științe și anume: postulatul că există o invarianță fundamentală mai presus de transformările naturale. „Problema științelor înseamnă mai întîi cercetarea legilor

---

[115] Traducerea engleză a celor două mari articole ale lui Mayer, "On the Forces of Inorganic Nature" și "The Motions of Organisms in their Relation to Metabolism", se găsește în *Energy: Historical Development of the Concept*, ed. Lindsay R. B.; Benchmark Papers on Energy, I, Pennsylvania, Dowden, Hutchinson and Ross, 1975.

[116] Pentru referințe vezi cap. III p. 137, nota 87, și Benton E., „Vitalism in the Nineteenth Century Scientific Thought" A Typology and Reassessment", în *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 5, 1974, p. 17—48.

[117] Helmholtz H., *Über die Erhaltung der Kraft*, *op. cit.*, p. 90—91.

grație cărora procesele particulare din natură pot fi explicate și deduse prin și din legile generale ... Această procedură este justificată și chiar obligatorie prin convingerea că fiecare schimbare în natură *trebuie* să aibă o cauză suficientă. Cauzele apropiate prin care pot fi explicate fenomenele pot fi prin ele însele variabile sau invariabile; în primul caz convingerea la care ne-am referit mai sus ne obligă să căutăm cauze care țin seama de această variație și aceasta pînă ajungem la cauzele finale, care sînt invariabile și care, prin urmare, în toate cazurile în care condițiile exterioare sînt aceleași, produc aceleași efecte invariabile. Scopul final al științelor teoretice ale naturii este, așadar, de a descoperi cauzele ultime și imuabile ale fenomenelor naturale". Aceasta este forma pe care a căpătat-o un anume kantianism din veacul al XIX-lea: conservarea energiei îndeplinește tot ce pretinde o cunoaștere rațională, iar descoperirea sa constituie în acest sens încoronarea definitivă a fizicii și a oricărei științe pozitive.

Principiul conservării energiei a avut o enormă importanță nu numai în ce privește teoriile științifice dar, de asemenea, în ce privește imaginea pe care o oferă știința. Se impune ideea unei noi vîrste de aur a fizicii, a unei perfecționări și a unei generalizări finale de tipul acelui raționament care determinase succesul mecanicii. Mulți cred că știința energiei reia diferitele teorii fizice și le înglobează ca tot atîtea cazuri particulare în cadrul unei concepții care reprezintă adevărul final al fizicii.

Rezonanța culturală a fost și ea imensă: o nouă concepție despre om, ca mașină energetică (Jacques Lacan, de exemplu, într-un text recent publicat a arătat în ce măsură această concepție a reprezentat o parte constitutivă din teoria freudiană [118]); o nouă concepție despre societate ca

---

[118] Lacan J., *Le Moi dans la théorie de Freud et dans la technique de la psychanalyse*, Seminarul II, 1954—1955, Paris, Seuil, 1978. Încă din teza sa (1932) Lacan sublinia caracterul

motor — ne referim la analiza pe care Serres [119] a făcut-o operei lui Zola; o nouă concepție despre natură, ea însăși ca „energie", adică putere de creare și de producere a diferențelor calitative.

Din acest punct de vedere principiul însuși este de altfel ambiguu: natura pe care o descrie apare econoamă, bine ordonată, calmă și controlabilă; ea se prezintă supusă și redusă la echivalențe experimentale. În acest sens Bergson nu se înșelase negăsind nimic cu adevărat nou în știința energiei. Totuși, dincolo de neputința la care era redusă natura prin descrierea științifică, alții, ca Nietzsche, sesizau ecoul slab al unei naturi care creează și distruge și a cărei putere știința o recunoscuse în suficientă măsură, pentru a-i înăbuși vuietul. Știința care descrie transformările energiei sub semnul echivalenței trebuie să admită, totuși, că numai *diferența* poate fi generatoare de efecte care, la rîndul lor, să fie diferențe [120]. Conversia energiei nu este nimic altceva decît *distrugerea* unei diferențe, *crearea* unei alte diferențe. În această perspectivă știința energiei dezvăluie și ascunde, în același timp, sub forme tradiționale, puterea naturii. Mai mult decît dispozitivul experimental, în care natura producătoare este stăpînită, supusă unei echivalențe prestabilite, pentru a o înțelege trebuie evocată mișcarea mașinilor cu abur, transformările dintr-un reactor chimic, viața și moartea indivizilor și a speciilor, care reprezintă tot atît de multe experimentări în care se desfășoară forța ei de creație și distrugere.

Această convingere că natura nu este un sistem ordonat, ci eterna desfășurare a unei forțe producătoare de efecte antagonice ce se înfruntă în lupta pentru supremație și dominație, are fără

---

esențial al conceptului de energie, aceasta într-o optică mayersoniană absolut coerentă, și să precizăm, cu referințe posterioare la Koyré.

[119] *Feux et signaux de brume. Zola*, Paris, Grasset, 1975.

[120] Deleuze G., *Nietzsche et la philosophie*, Paris, P.U.F., 1973, p. 48—55.

îndoială, rezonanțe și rădăcini filozofice; nu este, totuși, interzis să ascultăm, de asemenea, zgomotul mașinilor, nu aparatele de laborator ci mașinile industriale care, în mai puțin de un secol au produs rezultate ce nu suferă nici o comparație cu mașinile simple puse în mișcare de apă, de vînt, de tracțiune animală sau muncă omenească, care fuseseră inspiratoarele științei clasice [121].

3. De la mașinile termice la săgeata timpului

Dar dacă, cum ne este îngăduit să credem, spectacolul mașinilor termice, al cazanului fierbinte al locomotivelor în care cărbunele arde ireversibil pentru a produce mișcare, stabilește distanța de netrecut între spiritele clasice și cultura veacului al XIX-lea, este remarcabil faptul că fizica a considerat mai întîi că poate ignora această distanță, că poate să descrie mașinile noi ca pe cele vechi, din unicul punct de vedere al echivalenței și al randamentului ideal, neglijînd acest fapt nou, că ceea ce consumă mașinile cu abur dispare fără revenire. Nici o mașină termică nu va restitui lumii cărbunele pe care l-a devorat.

Astfel, știința energiei avea să înceapă descrierea naturii înseși ca un ansamblu de dispozitive de conversie, dominate de bilanțuri reversibile, în timp ce în ochii tuturor natura devenea

---

[121] Michel Serres scrie în studiul său despre „Doctorul Pascal" de Zola (*Feux et signaux de brume*, p. 109): „Veacul care se încheie sau aproape (atunci cînd a apărut romanul), s-a deschis pe superba stabilitate a sistemului solar; acum este plin de neliniște în fața degradărilor implacabile ale focului. De unde dilema, pozitivă și sălbatică: ciclu perfect fără reziduuri, reversibil, veșnic și valorizat, cosmogonia soarelui — sau ciclu neperfect, pierzîndu-și diferența, ireversibil, istoric și devalorizat, o cosmogonie, o termogonie a focului care trebuie ori să se stingă, ori să distrugă, și aceasta în mod obligatoriu. Visăm despre Laplace atunci cînd Carnot și alții au spart definitiv casa, cuibul în care se putea dormi în liniște, visăm, aceasta e sigur: atunci, arhaismele culturale ajunse pe altă intrare, printr-o altă deschidere a aceleiași uși, se reactivează puternic: flacără nemuritoare, rug purificator sau foc blestemat?"

rezervorul de energie al mașinilor, amenințată cu timpul de epuizare. Aceasta este noua situație din care, după cum credem noi, își trage rădăcinile transformarea ulterioară a fizicii. Conceptul de ireversibilitate fizică traduce, în orice caz, această obsesie în fizica conservării: lumea arde ca un furnal, nici o restaurare nu este de conceput, trebuie, așadar, ca energia, în același timp în care se conservă, să se și disipeze.

Totul începuse așadar într-o manieră foarte clasică; termodinamica, născută odată cu lucrarea lui Sadi Carnot asupra puterii motrice a focului, în 1824, reușise să reducă studiul mașinilor termice la modelul mașinilor clasice a căror primă descriere, și cea mai influentă din descrierile sistematice o făcuse Lazare Carnot, tatăl lui Sadi. Funcționarea mașinilor mecanice simple presupune mișcarea ca un element dat: ea se limitează să transforme și să transfere mișcarea altor corpuri. La fel, Carnot fiul „își va da" fluxul de căldură: două surse de temperaturi date, una rece și cealaltă caldă. Astfel, dintr-o lovitură știința a redus la tăcere cuptoarele fierbinți; de aci înainte interesează doar *efectul* combustiei: menținerea în cadrul unui sistem motor a unui corp la temperatură caldă și a unui alt corp, la temperatură rece.

Acest gest fondator era cu atît mai ușor pentru Sadi Carnot, cu cît, împreună cu majoritatea zdrobitoare a oamenilor de știință din vremea sa, el identifica căldura cu un fluid, conservat în cantitate constantă, de-a lungul tuturor transformărilor pe care le provoacă. În acest caz a lua ca punct de plecare două surse, înseamnă pur și simplu a se neglija procesul prin care combustia chimică degajă calorii, în același mod în care un constructor de mașini simple ignoră de unde vine vîntul, forța de tracțiune animală sau apa rîurilor.

Să luăm în considerare două surse, una din ele va ceda sistemului motor căldură, cealaltă cu temperatură diferită, va absorbi căldura cedată

de prima, și astfel *mișcarea* căldurii prin motor între cele două surse de temperaturi diferite va determina rotirea motorului, la fel cum apa care cade între două nivele diferite poate să învîrtească roata morii. Și Carnot ridică problema pusă de tatăl său [122]: care mașină va avea randamentul ideal? Care sînt sursele de pierderi? Care procese au drept consecință scurgerea căldurii fără a produce lucru mecanic? Lazare Carnot a tras concluzia: pentru ca o mașină mecanică să aibă un randament maxim, este necesar ca atît construcția cît și regimul de funcționare să fie astfel realizate încît să se evite la maximum șocurile, frecările, schimbările bruște de viteză, cu un cuvînt tot ce provine de la punerea bruscă în contact a unor corpuri cu viteze diferite. Prin aceasta el trăgea concluziile fizicii din vremea sa: numai fenomenele continui sînt conservative, în timp ce toate schimbările abrupte de mișcare determină o pierdere fără recuperare a „forței vii". *Mașina termică ideală* în loc de a evita orice punere în contact a unor corpuri cu *viteze* diferite, va evita orice punere în contact a unor corpuri cu *temperaturi* diferite. Ciclul va fi conceput în asemenea mod încît nici o schimbare de temperatură să nu rezulte dintr-un flux direct de căldură între două corpuri cu temperaturi diferite: un asemenea flux, neavînd nici un efect mecanic de dilatare sau de contracție, constituie o pierdere integrală de randament.

Ciclul ideal al lui Carnot realizează, așadar, paradoxul unui transport global de căldură între două surse de temperaturi diferite, fără nici un flux direct de căldură, fără a se pune în contact corpuri cu temperaturi diferite. El se împarte în patru faze. În cursul fiecăreia din cele două faze *izoterme*, sistemul este în contact cu una din cele două surse termice, *și este menținut la temperatura acestei surse.* În contact cu sursa caldă el

---

[122] Filiația intelectuală este subliniată de Cardwell *(From Watt to Clausius)* și Scott W. L. *(The Conflict between Atomism and Conservation Theory).*

absoarbe căldură și se dilată; în contact cu sursa rece pierde căldură și este comprimat. Cele două faze izoterme sînt conectate între ele prin două faze în care sistemul este *izolat* de surse: căldura nu mai intră și nu mai iese din sistem, dar acesta își modifică temperatura în urma unei compresii și a unei dilatări. Schimbarea de volum se continuă pînă cînd sistemul a trecut de la temperatura unei surse la temperatura celeilalte.

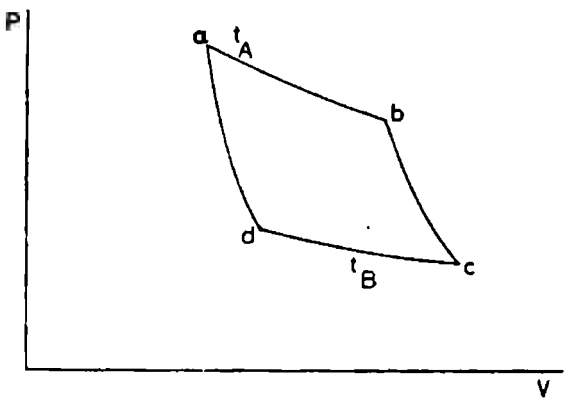

FIG. 2. *Ciclul lui Carnot* care funcționează între două surse de temperaturi t_A și t_B. *Între a și b*, etapă izotermă, sistemul menținut la temperatura t_A absoarbe căldură și se dilată. *Între b și c*, sistemul izolat se răcește pînă la temperatura t_B, continuîndu-și dilatarea. Aceste două etape sînt „motrice": dilatarea sistemului poate să miște un piston. *Între c și d*, a doua etapă izotermă, sistemul este comprimat și cedează căldură sursei reci la temperatura căreia este menținut. *Între d și a* sistemul, din nou izolat, este comprimat pînă ce temperatura sa redevine temperatura sursei calde.

În 1850, Clausius descria ciclul lui Carnot în cadrul nou al conservării energiei. El a descoperit că necesitatea celor două surse precum și formula randamentului ideal enunțată de către Carnot exprimă problema specifică a motoarelor termice: obligația unui proces de compensare a conversiei (aici răcirea prin contactul cu o sursă rece), care restaurează motorul la starea sa mecanică și termică inițială. La relațiile de bilanț ce exprimă conversia energiei se adaugă de aci înainte relații noi de echivalență între cele două procese, *flux* de căldură între surse și *conversie* de căldură în lucrul

mecanic, ale căror efecte se compensează din punctul de vedere al stării fizico-chimice a sistemului. Astfel s-a născut termodinamica.

Interpretarea lui Clausius capătă o semnificaţie foarte profundă, care va avea ecouri importante: natura este fără îndoială un inepuizabil rezervor de energie şi înainte de toate de energie termică, dar nu putem dispune în mod necondiţionat de această energie. Nu toate procesele care conservă energia sînt posibile. Nici o diferenţă de energie nu poate fi creată fără distrugerea unei diferenţe cel puţin echivalentă. În ciclul lui Carnot lucrul mecanic produs se plăteşte printr-un flux de căldură care *diminuează* diferenţa de temperatură a surselor. Lucrul mecanic produs şi diminuarea diferenţei de temperatură sînt legate în mod *ideal* printr-o *echivalenţă reversibilă*: aceeaşi maşină, dacă funcţionează invers, poate restaura diferenţa iniţială consumînd în acelaşi timp lucrul mecanic produs.

În 1850 Clausius, ca şi Carnot, nu se interesează în mod direct de pierderile care, pentru orice motor, antrenează un randament inferior randamentului ideal prevăzut de teorie. Din acest punct de vedere, statutul idealizării este acelaşi ca pentru maşinile mecanice descrise de Lazare Carnot: toate bilanţurile reale sînt deficitare, *dar singur idealul formează obiectul ştiinţei.*

Începînd cu secolul al XVIII-lea s-a schimbat totuşi ceva în statutul idealizărilor. Într-adevăr, ştiinţa nouă fondată pe principiul conservării energiei nu mai pretinde să descrie o idealizare, ci natura însăşi, *inclusiv „pierderile"*. Astfel apare această nouă problemă în care ireversibilitatea pătrunde în fizică: deoarece de acum înainte totul trebuie să poată fi descris şi nu elaborate doar anumite idealizări, cum să se descrie ceea ce se petrece în maşina reală? Care este natura perturbărilor ireversibile care diminuează randamentul?

Problema tehnologică pusă de Carnot şi Clausius începe printr-o descriere a motoarelor ideale, fondată pe conservare şi compensare, dar în ace-

laşi timp, deschide o întrebare nouă, aceea a disipării energiei. Această întrebare va fi transformată în afirmaţie de către William Thomson, probabil pentru că el cunoştea şi avea o adevărată veneraţie pentru opera lui Fourier. El enunţă al doilea principiu al termodinamicii.

Este vorba tocmai de *fenomenul universal al propagării căldurii* pe care Carnot l-a considerat la originea pierderilor de putere ale motorului termic. Legea lui Fourier era astfel asociată cu descrierea pierderilor prin conducţie care diminuează randamentul motorului termic. Ciclul lui Carnot, de acum înainte nu ciclul ideal, ci orice ciclu real, devine astfel punctul de întîlnire a celor două „universalităţi" descoperite de secolul al XIX-lea, cea a conversiei energiei şi cea a propagării căldurii; şi deoarece propagarea ireversibilă a căldurii este, în acest context, sinonimă cu pierderea de randament, ea va deveni încă din 1852 tendinţă spre degradarea universală a energiei mecanice.

Thomson a înfăptuit astfel vertiginosul salt de la tehnologia motoarelor, la cosmologie. Lumea laplaceiană era o lume conservativă şi veşnică, după imaginea maşinii simple ideale. Deoarece cosmologia lui Thomson nu este doar reflectarea imaginii noii maşini termice ideale, ci întruchipează în acelaşi timp consecinţele propagării ireversibile a căldurii într-o lume în care energia se conservă, această lume va fi descrisă ca o maşină în care conversia căldurii în mişcare nu se poate face decît cu preţul unei risipe ireversibile, al unei disipări inutile, al unei anumite cantităţi de căldură. În natură diferenţele producătoare de efecte scad fără încetare; lumea întreagă, din conversie în conversie, îşi epuizează diferenţele şi se îndreaptă spre starea finală definită de Fourier, starea de echilibru termic în care nu mai subzistă nici o diferenţă capabilă să producă un efect.

Am explicat formularea celui de al doilea principiu al termodinamicii, evocînd contextul ştiinţific propriu-zis: conservarea energiei, ştiinţa motoarelor, legea lui Fourier. Este, totuşi, deose-

bit de limpede că, în această materie, rolul contextului cultural a fost cel puțin tot atît de important. Putem evoca această problemă privind din două puncte de vedere diferite. Pe de o parte, după cum am menționat, se admite în general că tema timpului a căpătat în veacul al XIX-lea o importanță deosebită. Se pare că în toate domeniile se descoperă caracterul esențial al timpului, evoluția formațiilor geologice, a speciilor, a societăților, a moralei, a gustului, a limbajelor. Pe de altă parte, putem cu siguranță să afirmăm că forma specifică în care se introduce timpul în fizică, adică evoluția spre omogenitate și moarte este ecoul unor foarte vechi arhetipuri mitice și religioase, dar pot fi, de asemenea, observate repercusiunile culturale ale mutației sociale și economice ale epocii; transformarea rapidă a modului în care tehnica pătrunde în natură, progresul accelerat al secolului al XIX-lea stîrnesc o neliniște, a cărei dovadă o găsim încă în zilele noastre prin succesul unor propuneri ca de exemplu „limitele creșterii" sau „creșterea zero". Obsesia privind epuizarea stocurilor și oprirea motoarelor, ideea unui ireversibil declin traduc, fără îndoială, această angoasă proprie lumii moderne.

În 1865, Clausius înfăptuia la rîndul său trecerea caracteristică între tehnologie și cosmologie. Totuși el se limita, în aparență, la repetarea vechilor sale concluzii într-un limbaj nou, centrat în jurul conceptului de *entropie*. Acest limbaj a făcut să apară mai clar problematica din care s-a născut termodinamica, disocierea între conceptele de conservare și reversibilitate: contrar transformărilor mecanice în care idealurile de reversibilitate și de conservare coincid, o transformare fizico-chimică poate conserva energia fără a putea fi inversată. Acesta este cazul frecării, unde mișcarea se convertește în căldură, ca și al difuziunii căldurii, descrisă de Fourier.

Pentru Clausius, la început nu era vorba decît de a exprima într-o modalitate nouă cerința care definește orice sistem motor: întoarcerea sa la

starea inițială îndată ce ciclul este realizat, de îndată ce fluxul și conversia căldurii s-au compensat. Era comod să se introducă pentru acest efect o „funcție de stare", o funcție care nu depinde decît de valoarea parametrilor (presiune, volum, temperatură, cantitatea de căldură din sistem), care permite să se descrie starea sistemului [123]. În realitate, cunoaștem deja o asemenea funcție de stare, energia, dar pentru a caracteriza trecerea unui sistem între două stări, prin variația energiei, nu este suficient; trebuie să mergem dincolo de principiul simplu al conservării energiei și să găsim mijlocul de a exprima deosebirea dintre fluxurile „utile", acelea care compensează exact o conversie în cursul ciclului, și fluxurile „disipate", pierdute, acelea care nu ar putea fi readuse la sursa caldă printr-o inversiune de funcționare a sistemului. Acesta este rolul funcției de stare *S*, *entropia* [124].

---

[123] A fost necesar să se înțeleagă, în special, că, contrar a ceea ce se petrece în mecanică, nu orice situație a unui sistem termodinamic constituie o stare a acestui sistem ci, dimpotrivă, E. Daub, în "Entropy and Dissipation" (*Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 2, 1970, p. 321—354) analizează multiplele interpretări greșite date de Thomson și Tait în fața entropiei lui Clausius, înainte de a fi fost bine înțelese proprietățile ei de funcție de stare.

[124] Max Planck (*Autobiographie scientifique*, Paris, Albin Michel, 1960) amintește cît era de izolat cînd a subliniat singularitatea căldurii și a amintit că tocmai conversia căldurii într-o altă energie ridică o problemă. Energeticștii, ca, de exemplu, Ostwald voiau să dea tuturor energiilor același statut. Pentru el, căderea unui corp între două nivele de altitudine constituia acțiunea unei diferențe esențialmente producătoare de aceeași natură ca și trecerea căldurii între două corpuri cu temperaturi diferite: această asimilare ștergea distincția dintre un proces *idealmente reversibil*, ca o mișcare mecanică, și un proces *intrinsec ireversibil*, ca difuziunea căldurii. Prin aceasta, energeticștii s-au situat de fapt pe o poziție foarte apropiată de cea a lui Lagrange. În loc de a vedea, ca și acesta din urmă, în *conservarea energiei* o proprietate ce nu aparține decît cazurilor ideale, dar care ar fi *singura* susceptibilă de o tratare riguroasă, ei au făcut din conservarea energiei o proprietate a *oricărei* transformări fizico-chimice,

După fiecare ciclu, fie că este sau nu ideal, entropia, funcție de stare a sistemului, își reia valoarea inițială. Dar numai în cazul unui ciclu ideal variația de entropie dS, într-un timp foarte scurt dt poate fi definită printr-o relație de echivalență între această variație și schimburile cu mediul care o provoacă, în timpul dt. Și numai în acest caz o inversiune a sensului schimburilor dintre sistem și mediu se traduce printr-o inversiune de semn a variației entropiei. În cazurile unor cicluri neideale numai o parte din dS pe care o vom denumi d_eS posedă aceste proprietăți; d_eS descrie „fluxul" de entropie între mediu și sistem, ansamblul transformărilor sistemului determinate de fluxurile de schimb cu mediul, putînd fi anulate printr-o inversiune a acestor fluxuri. Dar schimburile cu mediul provoacă în interiorul sistemului alte transformări care, de data aceasta sînt *ireversibile:* este vorba de acelea care antrenează o scădere de randament în ciclul lui Carnot, adică fluxuri ce nu pot fi readuse la sursa caldă printr-o inversiune a sensului de funcționare a ciclului. Termenul d_iS este întotdeauna pozitiv sau egal cu zero; o inversiune a schimburilor cu mediul nu-i schimbă semnul. Variația de entropie dS este, așadar, suma celor doi termeni d_eS și d_iS cu proprietăți diferite; primul este independent de direcția timpului, deoarece semnul său depinde numai de sensul schimburilor cu mediul; cel de al doilea nu poate decît să sporească entropia în cursul timpului, sau să o lase constantă.

Să notăm imediat caracterul unic al descompunerii variației de entropie. În cazul energiei, E, situația este total diferită. Am putea, desigur, să scriem că dE este egală cu suma unui termen legat de schimburi și a unui termen legat de producția interioară, însă principiul conservării ener-

---

și au văzut în conservarea *diferențelor de energie* (necesară oricărei transformări, căci numai diferența de energie poate produce o altă diferență) „un caz numai ideal, singurul ce poate fi însă obiect al științei riguroase".

gici exprimă tocmai faptul că nu există „producție" de energie, ci numai un transfer dintr-un punct în altul din spațiu. Variația de energie dE se reduce, așadar, la d_e. Pe de altă parte, dacă ne gîndim la o mărime neconservată, de exemplu la cantitatea de hidrogen dintr-un recipient, această cantitate poate varia ca urmare a unui aport de hidrogen sau a unei produceri de hidrogen determinată de reacții chimice în interiorul recipientului. În acest caz însă semnul termenului „producție" nu este dat. După împrejurări putem fie să producem, fie să distrugem hidrogenul. Caracterul unic al enunțului celui de-al doilea principiu ține de faptul că termenul de producție este *întotdeauna pozitiv*. Producerea de entropie dezvăluie o evoluție ireversibilă a sistemului.

În mai multe rînduri am evocat problema „pierderilor" în mecanică sau în știința motoarelor termice. Aceasta pentru că, atunci cînd descrierea fizică favorizează transformările naturale care pot fi idealizate ca reversibile, mai subzistă doar „pierderile", diferența dintre idealul reversibil și transformarea reală niciodată totală, pentru a aminti fizicii că majoritatea evoluțiilor naturale sînt intrinsec ireversibile. Termodinamica lui Clausius nu dă o semnificație fizică precisă decît transformărilor reversibile. În legătură cu „producerea de entropie", ea se mărginește să afirme existența inegalității $d_iS/dt \geqslant 0$. Aparent nu s-a realizat nici un progres, dar în fapt această simplă definiție va permite să se depășească problematica pierderilor de randament. Căci, dacă trecem de la ciclul lui Carnot la oricare alt sistem termodinamic, *distincția dintre flux și producerea de entropie poate fi întotdeauna operată*. Într-un sistem izolat, fără schimburi cu mediul, fluxul de entropie este prin definiție nul. Nu rămîne decît termenul de „producere", și, din acel moment, entropia sistemului nu poate decît să crească sau să rămînă constantă. Aici nu mai este vorba de transformări ireversibile ca aproximații ale unor transformări reversibile: creșterea entropiei indică o

evoluție spontană a sistemului. Entropia devine astfel un „indicator de evoluție" și exprimă existența în fizică a unei „săgeți a timpului": pentru orice sistem izolat, viitorul este direcția în care crește entropia.

Ce sistem ar putea fi însă mai bine izolat decît Universul în totalitatea sa? Și ce importanță are că evoluția Universului nu poate fi definită într-o modalitate fizică precisă, căci tocmai termodinamica lui Clausius nu încearcă să definească procesele ireversibile, ci doar să le afirme existența. În 1865 Clausius enunța cele două principii ale termodinamicii într-o formulă cosmologică devenită celebră:

„Die Energie der Welt ist konstant.
*Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu"**

Chiar abandonînd contextul cosmologic, enunțul: *entropia unui sistem izolat crește pînă la maximum depășește cu mult problema tehnologică ce a stat la originea termodinamicii.* Creșterea entropiei nu mai este sinonimă cu pierderile, ea se află legată de *procesele naturale* care se desfășoară în sistem, conducîndu-l invariabil spre echilibru, stare în care entropia este maximă și în care nu mai poate avea loc nici un proces producător de entropie.

Retrospectiv se poate măsura natura gestului prin care Carnot a întemeiat termodinamica, făcînd să înceteze zgomotul cuptoarelor; considerînd ca date cele „două surse", el a separat ceea ce este intrinsec ireversibil într-un motor, adică procesul de combustie producător de mișcare, de ceea ce poate fi idealizat și adus la transformări reversibile.

Transformările reversibile țin de știința clasică în sensul că ele definesc posibilitatea de a acționa asupra unui sistem, de a-l controla. Obiectul dinamic era controlabil prin intermediul condițiilor sale inițiale: o pregătire adecvată a sistemului antrenează evoluția dorită spre cutare sau

---

* Energia lumii este constantă.
Entropia lumii tinde spre un maximum. — *Nota trad.*

cutare stare predeterminată. Obiectul termodinamic definit în termenii transformărilor sale reversibile este controlabil prin condiţiile sale la limită: un sistem la echilibru termodinamic căruia i se schimbă *foarte progresiv* fie temperatura, fie volumul, fie presiunea, trece printr-o serie de stări de echilibru şi inversiunea manipulării antrenează, în mod ideal, reîntoarcerea la starea iniţială. Caracterul reversibil al evoluţiei şi controlul prin condiţiile la limită sînt în întregime interdependente. În acest cadru, ireversibilitatea este definită negativ; ea nu apare decît ca o evoluţie „necontrolată" care se produce de fiecare dată cînd sistemul scapă de sub control. Acest punct de vedere poate fi însă inversat: în procesele ireversibile, care determină scăderea randamentului, se poate vedea ultimul semn care mai persistă din *activitatea* spontană şi intrinsecă a materiei într-o situaţie în care manipulările experimentale reuşesc s-o canalizeze. Diferenţa dintre randamentul ideal şi randamentul real indică în acest caz, în mod negativ, o proprietate care diferenţiază esenţialmente sistemele dinamicii clasice de sistemele termodinamicii: obiectul termodinamic, *contrar obiectului dinamic*, nu este controlat decît parţial; i se poate întîmpla „să scape" într-o evoluţie spontană, *deoarece pentru acest sistem evoluţiile nu sînt echivalente.*

Relaţia $dS = d_eS + d_iS$ semnifică deci că evoluţia spontană spre echilibru este *de altă natură* decît evoluţia determinată şi controlată printr-o alterare a condiţiilor la limită (precum temperatura ambiantă). Pentru un sistem izolat, echilibrul apare ca o adevărată „stare de atracţie" a stărilor de non-echilibru şi putem acum generaliza primul enunţ spunînd că evoluţia spre o „stare de atracţie" este diferită de orice altă evoluţie şi îndeosebi de evoluţia de la o „stare de atracţie" spre o altă „stare de atracţie", atunci cînd sistemul este silit să evolueze.

Max Planck a subliniat diferenţa dintre aceste două moduri de evoluţie naturală şi singularitatea unor anumite stări puse în evidenţă de această diferenţă. După cum scrie Planck, se pare că natura

„favorizează" anumite stări; creşterea ireversibilă a entropiei, d_iS/dt, descrie apropierea sistemului spre o stare care „îl atrage", pe care o preferă şi de care nu se va îndepărta spontan: apropierea ireversibilă. „Din acest punct de vedere, nu pot să existe deci procese a căror stare finală să fie un obiect de atracţie mai mică pentru natură decît starea iniţială. Schimbările reversibile sînt un caz limită pentru care natura are aceeaşi predispoziţie atît pentru starea iniţială cît şi pentru starea finală; de aceea este posibilă trecerea de la una la alta în ambele sensuri" [125].

Cît de străin este acest limbaj de cel al dinamicii! Acolo, sistemul evoluează pe o traiectorie dată odată pentru totdeauna, păstrînd pentru veşnicie amintirea punctului de plecare (deoarece condiţiile iniţiale determină traiectoria odată pentru totdeauna). Aici, dimpotrivă, *toate* sistemele în stare de non-echilibru evoluează spre *aceeaşi* stare de echilibru. Ajuns la echilibru, sistemul a *uitat* condiţiile iniţiale, a uitat modul în care a fost pregătit. Contează numai „bazinul de atracţie": toate sistemele care au o stare ce aparţine acestui bazin se îndreaptă spre aceeaşi stare finală, caracterizată prin aceeaşi comportare, acelaşi ansamblu de proprietăţi. Astfel, căldura specifică sau compresibilitatea unui sistem la echilibru sînt proprietăţi caracteristice independente de modul în care am preparat sistemul. (Aceasta constituie, de altfel, o circumstanţă fericită, care simplifică enorm studierea stărilor fizice ale materiei şi care, chiar la limită, o face posibilă. Într-adevăr, pentru ca să putem vorbi de căldură specifică, de compresibilitate, este nevoie de sisteme formate dintr-un imens număr de particule [126]. Din punct de vedere dinamic,

[125] Planck M., *Initiations à la physique*, Paris, Flammarion 1941, p. 18–19.

[126] În chimia fizică se introduce numărul lui Avogadro, numărul de molecule într-un „mol" de materie (orice „mol" conţine acelaşi număr de particule: numărul de atomi de hidrogen într-un gram). Acest număr este de ordinul a 6.10^{23}, şi acesta este ordinul de mărime caracteristic numărului de particule care constituie sistemele guvernate de legile termodinamicii clasice.

este practic exclus ca o stare să poată fi reprodusă, dată fiind varietatea infinită de stări și de comportări dinamice realizate într-un sistem de 10^{23} particule.)

Ajungem astfel la două descrieri funciarmente diferite: dinamica, aplicabilă lumii maselor în mișcare și termodinamica, fundamentul științei sistemelor complexe. În fața acestei dualități se pune însă invariabil următoarea întrebare: Cum pot fi legate aceste descrieri? Iată o problemă care s-a discutat fără întrerupere din momentul formulării legilor termodinamice.

4. Principiul de ordine al lui Boltzmann

După cum am văzut, opoziția dintre starea de atracție și legea mișcării deschide problema relației între cele două descrieri și posibilitatea unei treceri de la una la cealaltă [127].

La finele veacului al XIX-lea, cea mai mare parte dintre cercetători dau un răspuns negativ acestei întrebări: cele două principii ale termodinamicii constituiau legi fundamentale noi, bază a unei științe noi, imposibil de redus la fizica tradițională. Diversitatea calitativă a energiei și tendința sa la degradare trebuiau acceptate ca axiome. Cel puțin acestea erau tezele cu care „energetiștii" s-au opus „atomiștilor". Cît despre aceștia din urmă, ei au refuzat să renunțe la ceea ce considerau a fi ambiția însăși a fizicii: a reduce complexitatea fenomenelor naturale la simplitatea comportamentelor elementare.

De fapt, după cum vom vedea mai departe, problema trecerii între nivelele microscopice și cele macroscopice va fi de o fertilitate extraordinară

---

[127] În *Le Retour éternel et la philosophie de la physique* (Paris, Flammarion, 1927), Abel Rey a relatat toate sforțările depuse de fizicienii veacului al XIX-lea pentru a evita o definiție pragmatică a ireversibilității (disiparea energiei utilizabile), și a conchis arătînd că Boltzmann rezolvă problema identificînd energie utilizabilă cu (după cum vom vedea) stare improbabilă.

pentru întreaga dezvoltare a fizicii. Boltzmann a fost cel dintîi care a înfruntat această sfidare: el considera că trebuiau găsite concepte fizice noi pentru a extinde fizica traiectoriilor la situațiile descrise de termodinamică. Boltzmann, urmîndu-l pe Maxwell, a găsit această inovație în conceptul de probabilitate.

Intervenția probabilității ca auxiliar în descrierea unui fenomen complex nu reprezenta o noutate în sine. Se pare, de altfel, că Maxwell s-a inspirat din opera lui Quételet, care a inventat în sociologie „omul mijlociu". Inovația a constat în introducerea probabilității în fizică nu cu titlul de instrument de aproximare, ci mai degrabă ca principiu explicativ, arătîndu-se ce comportare nouă poate să adopte un sistem prin faptul că este format dintr-o populație numeroasă (vezi p. 287 nota 174).

Să luăm un exemplu simplu de aplicare a conceptului de probabilitate în fizică. Un ansamblu de N particule se află într-o cutie împărțită în două compartimente egale. Se pune problema de a se cunoaște probabilitatea diferitelor repartiții posibile a particulelor între compartimente, adică probabilitatea de a găsi N_1 particule în primul compartiment (și $N_2 = N - N_1$ în cel de al doilea).

Analiza combinatorie permite să se calculeze numărul de modalități în care poate fi realizată fiecare repartiție diferită a numărului N de particule. Astfel, dacă $N = 8$, există un singur mod de a pune cele opt particule într-o singură jumătate; dimpotrivă, există deja opt moduri diferite de a pune o particulă într-o jumătate, iar celelalte șapte în cea de-a doua jumătate; iar repartiția egală a celor opt particule între cele două jumătăți poate fi realizată în $8!/4!\,4! = 70$ de moduri diferite (în care $n! = 1.2.3 \ldots (n - 1).n$). În mod asemănător, oricare ar fi valoarea N, se pot defini un *număr de îmbinări* P, care să indice numărul modalităților în care se poate realiza o repartiție particulară N_1, N_2; $P(N_1, N_2) = N!/N_1!\,N_2!$.

Pentru o populație dată numărul îmbinărilor este cu atît mai ridicat cu cît este mai mică diferența între N_1 și N_2: este maxim cînd populația de particule este repartizată egal între cele două jumătăți. Este remarcabil de subliniat că, cu cît N este mai mare, cu atît se adînceşte diferența între numărul îmbinărilor ce corespund diverselor moduri de repartiție. În cazurile cînd N este de ordinul 10^{23} în sistemele macroscopice, majoritatea zdrobitoare a repartițiilor particulare posibile realizează repartiția $N_1 = N_2 = N/2$. Pentru sistemele compuse dintr-un număr mare de particule, orice stare diferită de echipartiție poate fi, prin urmare, calificată ca foarte improbabilă.

Boltzmann a fost cel dintîi care a atras atenția că se putea interpreta creşterea ireversibilă a entropiei ca expresia creşterii dezordinii moleculare, a uitării progresive a oricărei disimetrii inițiale, căci orice disimetrie este improbabilă în raport cu starea ce corespunde unui număr maxim de îmbinări. Ideea lui Boltzmann a fost, aşadar, să identifice în esență entropia cu numărul de îmbinări: entropia caracterizează fiecare stare macroscopică prin numărul de modalități diferite de a realiza această stare [128], $S = kln\ P$. Factorul de proporționalitate k este o constantă universală denumită constanta lui Boltzmann.

Importanta formulă a lui Boltzmann face din evoluția termodinamică ireversibilă o evoluție spre stări de probabilitate crescîndă şi din „starea de atracție", starea macroscopică realizată de aproape totalitatea stărilor microscopice în care se poate afla sistemul. Din acest moment sîntem foarte departe de Newton. Pentru prima dată a fost explicat un concept fizic în termeni de probabilitate. Desigur, statutul acestei explicații rămîne problematic, dar fertilitatea sa este de pe acum explozivă. Probabilitatea este suficientă pentru a explica uitarea oricărei disimetrii inițiale, a

---

[128] Relația logaritmică exprimă faptul că entropia este o mărime aditivă, adică ($S_{1+2} = S_1 + S_2$) în timp ce numărul de îmbinări este multiplicativ ($P_{1+2} = P_1 \cdot P_2$).

oricărei repartiții particulare (de exemplu, ansamblul particulelor reunite într-o subregiune a sistemului, sau, distribuția vitezelor care rezultă din amestecul a două gaze la temperaturi diferite). Această uitare provine din faptul că, *oricare ar fi evoluția particulară a sistemului*, el va ajunge în cele din urmă la una din stările microscopice care să corespundă stării macroscopice de dezordine și de simetrie maximă; într-adevăr, zdrobitoarea majoritate a stărilor microscopice posibile realizează această stare. Odată ajuns în această stare, și pentru aceeași rațiune, sistemul nu se va îndepărta de la starea respectivă decît pentru intervale de timp și de distanțe foarte mici; el nu va înceta să *fluctueze* în jurul „stării de atracție".

Principiul de ordine al lui Boltzmann implică că starea cea mai probabilă accesibilă unui sistem este aceea cînd multitudinea evenimentelor care se produc simultan în acest sistem compensează *statistic* efectele lor. Pentru a relua exemplul de la început, oricare ar fi repartiția inițială, evoluția sistemului va conduce în cele din urmă la echirepartiția $N_1 = N_2$. Această stare va pune capăt evoluției macroscopice ireversibile a sistemului: desigur, particulele vor continua să treacă dintr-o jumătate în cealaltă, dar, deoarece în medie, în fiecare clipă vor trece tot atîtea particule *într-o direcție ca și în cealaltă*, mișcările lor nu vor putea să antreneze decît *fluctuații* inevitabile, continui, dar mici și destinate unei rapide regresiuni în jurul valorii $N_1 = N_2$. Interpretarea probabilistă a lui Boltzmann permite, deci, să se înțeleagă singularitatea „stărilor de atracție" studiate de termodinamica echilibrului.

Am tratat mai sus cazul unui sistem izolat: nu numai numărul de particule, ci și energia totală a sistemului sînt fixate prin condițiile la limită. Raționamentul lui Boltzmann a putut fi generalizat la sistemele închise și deschise care admit o stare de echilibru. În cazul unui sistem închis, pe care schimburile termice cu mediul îl

menţin la o temperatură T invariantă, echilibrul este definit nu de maximul entropiei, ci prin minimul unei funcţii analogice, energia liberă, $F = E - TS$, în care E este energia sistemului.

Structura acestei formule exprimă faptul că echilibrul rezultă aici dintr-o competiţie între factorii energetici şi cei entropici. Ponderile relative ale acestor doi factori sînt determinate de temperatură: la temperatură joasă este dominantă energia; se formează atunci *structuri ordonate* (entropie slabă) şi de energie joasă, asemenea cristalelor; în cadrul unor asemenea structuri, fiecare atom, fiecare moleculă interacţionează cu cele vecine şi energiile cinetice sînt destul de mici pentru ca aceste forţe de interacţiune să menţină particulele practic imobile. La temperatură înaltă dimpotrivă, dominantă este entropia şi, odată cu aceasta, dezordinea moleculară. Ajungem astfel la starea lichidă apoi la starea gazoasă.

Entropia S pentru un sistem izolat, energia liberă F pentru un sistem de temperatură fixată T constituie exemple de „potenţiale termodinamice". Extremul unui potenţial termodinamic defineşte „starea de atracţie" spre care tinde în mod spontan orice sistem la care condiţiile la limită corespund cu definiţia acestui potenţial.

Să subliniem, în sfîrşit, că principiul de ordine al lui Boltzmann permite astfel să se prevadă formarea de structuri fizice *ordonate* şi să se descrie coexistenţa unor faze în interiorul unui sistem la echilibru: de exemplu echilibrul între un produs cristalizat şi acelaşi produs în soluţie. Este important să pre cizăm că structurile la echilibru constituie structuri definite la scara moleculară; interacţiunile între molecule pe intervale de ordinul a 10^{-8} cm (Angström) stabilizează edificiul cristalin şi îi conferă proprietăţile sale macroscopice. Dimensiunea unui cristal prin ea însăşi, nu este o proprietate intrinsecă a structurii, ea exprimă doar cantitatea de materie care, în stare de echilibru, aparţine fazei cristaline.

Termodinamica de echilibru aduce un răspuns satisfăcător cu privire la un imens număr de fenomene fizico-chimice. Totuşi, acest răspuns rămîne incomplet şi aceasta cel puţin din două puncte de vedere.

Mai întîi, dacă am convenit că echilibrul constituie o noţiune statistică, că el corespunde stării de posibilitate maximală, date fiind condiţiile la limită, rămîne să aflăm cum putem justifica introducerea probabilităţii, care pînă acum rămîne o noţiune străină descrierii dinamice şi traiectoriilor sale deterministe. Pe de altă parte, ne putem întreba, şi acesta este punctul pe care-l vom studia aici, dacă structurile la echilibru sînt suficiente pentru a interpreta diferitele fenomene de structurare pe care le întîlnim în natură. La această întrebare răspunsul este categoric negativ.

Structurile la echilibru rezultă din compensarea statistică a activităţii mulţimii de constituanţi elementari. Prin urmare, ele sînt lipsite de activitate macroscopică şi inerte la nivelul global. Într-un anumit sens, ele sînt, de asemenea, nemuritoare; odată formate, ele pot fi izolate şi menţinute la nesfîrşit fără a mai avea nevoie de schimburi cu mediul. Or, fie că examinăm o celulă vie sau un oraş, se impune aceeaşi constatare: nu numai că aceste sisteme sînt deschise, dar ele trăiesc chiar din această deschidere, se alimentează din fluxul de materie şi energie care le vine din lumea exterioară. Este exclus ca un oraş sau o celulă vie să evolueze spre o compensaţie mutuală, un echilibru între fluxurile de intrare şi de ieşire. Dacă vrem, putem să izolăm un cristal, dar oraşul sau celula, rupte de mediul lor, mor foarte repede; ele sînt parte integrantă a lumii care le hrăneşte, ele constituie un fel de întruchipare, locală şi singulară a fluxurilor pe care le transformă fără încetare.

Şi nu numai natura vie este profund străină modelelor termodinamicii de echilibru. Hidrodinamica, ştiinţa fluxurilor şi a turbulenţelor, meteorologia, ştiinţa organizării instabile a maselor de

aer în funcție de fluxurile de materie și de căldură, descriu natura neînsufletită ca fiind sediul unor fluxuri neîntrerupte care o constituie ca un tot activ și organizat.

Nici nu ne imaginăm cum poate fi aplicat principiul de ordine al lui Boltzmann la asemenea situații. Ca un sistem să se uniformizeze în cursul timpului, este un fenomen pe care-l putem înțelege în termeni de îmbinări — în stare uniformă, cînd „diferențele" create de condițiile inițiale au fost uitate, numărul de îmbinări va fi mai mare. Dar dacă o mișcare de convecție se produce spontan, va fi cu siguranță imposibil să o înțelegem din acest punct de vedere, deoarece curentul de convecție cere o coerență, o cooperare a unui imens număr de molecule, este o stare privilegiată, căreia nu-i poate corespunde decît un număr de îmbinări relativ mic. Și dacă convecția este un „miracol", *a fortiori*, cu viața va fi același lucru.

La limită, problema relevanței modelelor la echilibru ar putea fi chiar inversată. Pentru a putea obține un sistem în stare de echilibru, el trebuie ocrotit de fluxurile din care este constituită natura, el trebuie „pus în cutie" — sau în butelie, ca și homunculul fragil și artificial care, în actul II al tragediei *Faust* de Goethe se adresează alchimistului care l-a creat:

> Îmbrățișează-mă la piept cu gingășie
> Dar nu prea strîns, să nu se spargă sticla
> Obștească însușire e, precum se știe:
> Firescului de-abia-i ajunge-un univers deschis,
> Ce-i artificial e mulțumit c-un loc închis.

În lumea pe care o cunoaștem, echilibrul este o stare rară și precară; în ce privește evoluția spre echilibru, aceasta implică o lume destul de depărtată de soare, pentru a se concepe izolarea unui sistem parțial (la temperatura soarelui nu există nici un fel de „cutie" posibilă), dar în care starea de non-echilibru să fie regula: o lume „călduță".

Totuşi, multă vreme, unii fizicieni au considerat că pot defini ordinea inertă a cristalelor ca singura ordine fizică ce poate fi prevăzută şi reprodusă, iar evoluţia spre dezordine şi inerţie, ca singura evoluţie ce se poate deduce din legile fundamentale ale fizicii. De acum încolo extrapolările ce s-au încercat pe baza descrierilor termodinamice vor defini ca rară şi imprevizibilă evoluţia tipică descrisă de ştiinţele biologice, ştiinţele societăţii şi ale culturii: complexitate crescîndă şi amplificare a inovaţiilor. Cum poate fi conciliată, de exemplu, evoluţia darvinistă, *selecţia* statistică a unor evenimente rare, cu *dispariţia* statistică a oricărei particularităţi, a oricărei configuraţii rare, descrise de Boltzmann? Pe bună dreptate, Roger Caillois [129] îşi pune întrebarea: „Oare Carnot şi Darwin pot să aibă dreptate în acelaşi timp?"

Termodinamica de echilibru constituie, într-adevăr, primul răspuns oferit de fizică problemei complexităţii naturii. Acest răspuns se enunţă prin disiparea energiei, uitarea condiţiilor iniţiale, evoluţia spre dezordine. În timp ce dinamica — ştiinţă a traiectoriilor eterne şi reversibile — era cu totul străină de preocupările veacului al XIX-lea, termodinamica de echilibru s-a dovedit capabilă de a opune punctului de vedere al celorlalte ştiinţe, punctul de vedere propriu asupra timpului. Şi acest punct de vedere se referă la degradare şi la moarte. Încă Diderot, la vremea sa, se întreba: „Ce sîntem noi, fiinţe sensibile şi organizate în lumea inertă şi supusă a dinamicii?" A trecut un veac de cînd cultura noastră este sfîşiată de această nouă întrebare: ce reprezintă evoluţia fiinţelor vii, a societăţilor lor, a speciilor, într-o lume în care domină dezordinea crescîndă a termodinamicii? Care este raportul între timpul termodinamic, al tendinţei spre echilibru, şi timpul devenirii complexe, acest timp despre care Bergson spunea că este sau invenţie sau nimic?

---

[129] Caillois R., „La dissymétrie" în *Cohérences aventureuses*, Paris Gallimard, colecţia Idées, 1973, p. 198.

Capitolul V

Cele trei stadii ale termodinamicii

1. Flux şi forţe

Să reluăm [130] formularea celui de-al doilea principiu apărut în capitolul precedent. În descrierea evoluţiei, entropia joacă un rol central. Aşa cum am văzut, variaţia sa poate fi scrisă ca suma a doi termeni — termenul d_eS, legat de schimbările dintre sistem şi restul lumii, şi un termen de producere, d_iS, cauzat de fenomenele ireversibile din interiorul sistemului. Acest termen este întotdeauna pozitiv, exceptînd starea de echilibru termodinamic cînd el devine zero. În cazul sistemelor izolate ($d_eS = 0$), starea de echilibru corespunde unei stări de maximă entropie.

Pentru a putea aprecia semnificaţia fizică a celui de-al doilea principiu, este necesară o descriere amănunţită a diferitelor fenomene ireversibile implicate în producerea de entropie d_iS sau în producerea entropiei în unitatea de timp $P = d_iS/dt$.

Pentru noi, reacţiile chimice au o semnificaţie specială. Împreună cu transmiterea de căldură ele formează chiar prototipul proceselor ireversibile. În afară de importanţa lor intrinsecă, procesele chimice joacă un rol fundamental în biologie. Celula vie are o activitate metabolică continuă. Acolo au loc simultan mii de reacţii chimice pentru a transforma materialul cu care se hrăneşte celula, a sintetiza biomoleculele fundamentale şi a elimina produsele inutile. Această acti-

---

[130] În ceea ce priveşte teoria expusă în acest capitol şi în următorul, vezi Glansdorff P. şi Prigogine I., *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*, New York, Wiley-Interscience, 1971 şi Nicolis G. şi Prigogine I., *Self Organization in Non-Equilibrium Systems*, New York, Wiley-Interscience, 1977.

vitate chimică este foarte bine coordonată atît în ceea ce privește diferitele viteze de reacție cît și localizarea lor în interiorul celulei. Structura biologică îmbină astfel ordinea cu activitatea. Dimpotrivă, o stare de echilibru rămîne inertă chiar dacă poate fi ordonată, ca în cazul unui cristal. Există oare posibilitatea ca procesele chimice să ne furnizeze cheia diferenței dintre comportamentul cristalului și cel al celulei?

Va trebui să considerăm reacțiile chimice din două puncte de vedere, atît cinetic cît și termodinamic.

Din punct de vedere cinetic, mărimea fundamentală este *viteza* de reacție. Teoria clasică a cineticii chimice se bazează pe ipoteza că viteza unei reacții chimice este proporțională cu concentrația produselor care participă la ea. Într-adevăr, o reacție are loc prin ciocnirea dintre molecule și este foarte normal să presupunem că numărul ciocnirilor este proporțional cu produsul concentrațiilor moleculelor care reacționează.

Ca exemplu, să luăm o reacție simplă cum ar fi $A + X \rightarrow B + Y$. Această „ecuație a reacției" arată că ori de cîte ori o moleculă a componentei A întîlnește o moleculă a lui X, există o anumită probabilitate să aibă loc o reacție care va produce o moleculă B și una Y. O ciocnire ce produce o astfel de schimbare în natura moleculelor se numește „ciocnire reactivă". Numai o fracțiune, de obicei foarte mică, (de exemplu $1/10^6$) din totalitatea ciocnirilor este de acest fel. De cele mai multe ori, moleculele își păstrează caracteristicile originale, făcînd doar schimb de energie.

Cinetica chimică se ocupă de schimbarea concentrației diferitelor produse implicate într-o reacție. Această cinetică este descrisă cu ajutorul ecuațiilor diferențiale, așa cum mișcarea este descrisă de ecuațiile newtoniene. Totuși, în acest caz, nu calculăm accelerația ci viteza de schimbare a concentrației, iar această viteză se exprimă

ca o funcție a concentrațiilor reactanților. Viteza de schimbare a concentrației lui X, dX/dt este astfel proporțională cu produsul concentrațiilor lui A și X în soluție, adică $dX/dt = -kA.X$, unde k este un factor de proporționalitate legat de mărimi cum sînt temperatura și presiunea, și măsoară fracțiunea ciocnirilor reactive care au loc și conduc spre reacția $A + X \rightarrow Y + B$. Întrucît, în exemplul dat, ori de cîte ori o moleculă a lui X dispare, dispare și una a lui A, și se formează o moleculă a lui Y și una a lui B, vitezele de schimbare a concentrației sînt legate prin $dx/dt = dA/dt = -dY/dt = -dB/dt$.

Dar dacă ciocnirea dintre o moleculă a lui X și una a lui A poate produce o reacție chimică, ciocnirea dintre moleculele lui Y și B poate produce o reacție inversă. O a doua reacție $Y + B \rightarrow X + A$ are loc astfel în interiorul sistemului descris, determinînd o variație suplimentară în concentrația lui X, $dX/dt = k'YB$. Variația totală a concentrației unui compus chimic este dată de echilibrul dintre reacția directă și cea inversă. În exemplul nostru, $dX/dt\ (= -dY/dt = \ldots) = -kAX + k'YB$.

Dacă este lăsat izolat, un sistem în care au loc reacții chimice tinde către o stare de echilibru chimic. Echilibrul chimic este, deci, un exemplu tipic al unei stări „de atracție". Oricare ar fi compoziția chimică inițială a sistemului, acesta ajunge în mod spontan la acest stadiu final în care reacțiile directe și cele inverse se compensează statistic astfel încît nu mai există nici o variație în concentrații $(dX/dt = 0)$. Aceasta înseamnă că raportul dintre concentrațiile de echilibru este dat de $AX/YB = k'/k = K$. Acest rezultat este cunoscut ca „legea acțiunii maselor" sau legea lui Guldberg și Waage, unde K este constanta de echilibru. Raportul dintre concentrațiile determinate de legea acțiunii maselor corespunde echilibrului chimic în același fel în care uniformitatea temperaturii (în cazul unui sistem izolat) corespunde echilibrului termic. Producerea entropiei corespunzătoare se anulează.

Înainte de a ne ocupa de descrierea termodinamică a reacţiilor chimice, să luăm în considerare pe scurt un alt aspect al descrierii cinetice. Viteza reacţiilor chimice este influenţată nu numai de concentraţiile moleculelor care reacţionează şi de parametrii termodinamici (de exemplu: presiune, temperatură etc.) ci şi de prezenţa în sistem a substanţelor chimice care modifică viteza reacţiei, fără ca ele să se schimbe în timpul procesului. Substanţele de acest fel sînt cunoscute sub denumirea de „catalizatori". Catalizatorii pot modifica, de exemplu, valoarea constantelor cinetice k sau k' sau chiar pot permite sistemului să urmeze o nouă „cale de reacţie". În biologie, acest rol îl joacă anumite proteine specifice, „enzimele". Aceste macromolecule au o configuraţie spaţială care le permite să modifice viteza unei reacţii date. Deseori, ele sînt foarte specifice şi influenţează numai o anumită reacţie. Un mecanism posibil pentru efectul catalizator al enzimelor constă în prezentarea unor „locuri de reacţie" diferite la care să tindă să se aşeze moleculele ce iau parte la reacţie, mărind astfel probabilitatea de contact şi de reacţie.

Un tip de cataliză foarte important, în biologie în special, este acela în care prezenţa unui produs este cerută pentru propria lui sinteză. Cu alte cuvinte, pentru a produce molecula X trebuie să începem cu un sistem care-l conţine deja pe X. Foarte adesea, de exemplu, molecula X *activează* o enzimă. Fixîndu-se pe enzimă, ea îşi stabilizează acea configuraţie specifică în care locul de reacţie este disponibil. Unui astfel de proces de autocataliză, îi corespunde o reacţie de felul: $A + 2X \rightarrow 3X$; în prezenţa moleculei X, o moleculă A se transformă într-o moleculă X. Prin urmare, avem nevoie de X pentru a produce mai mult X. Această reacţie poate fi reprezentată simbolic de „bucla" de reacţie.

O caracteristică importantă a sistemelor care cuprind astfel de „bucle de reacție" constă în aceea că ecuațiile cinetice, care descriu schimbările ce apar în interiorul lor, sînt ecuații diferențiale *nelineare.*

Aplicînd aceeași metodă ca mai sus, ecuația cinetică obținută pentru reacția $A + 2X \rightarrow 3X$ este $dX/dt = kAX^2$, unde viteza de variație a concentrației lui X este proporțională cu *pătratul* concentrației sale.

Un alt fenomen foarte important în biologie este acela al catalizei încrucișate, de exemplu $2X + Y \rightarrow 3X$, $B + X \rightarrow Y + D$ care poate fi reprezentată de bucla din figura 3

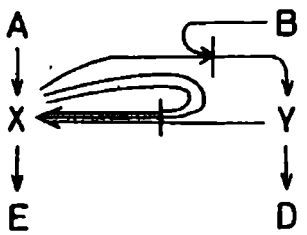

FIG. 3. Această schemă ne prezintă setul de reacții al sistemului Brusselator, care va fi descris ulterior în acest capitol.

Acesta este un caz de cataliză încrucișată, întrucît X este produs de Y, și, simultan, Y de X. Cataliza poate să nu mărească neapărat viteza de reacție — ea poate, dimpotrivă, să ducă la inhibiție, care de asemenea se poate reprezenta prin bucle de reacție inverse, corespunzătoare.

Proprietățile matematice specifice ecuațiilor diferențiale nelineare ce descriu procesele chimice în care apar procese catalitice sînt deosebit de importante, cum vom vedea mai tîrziu, pentru termodinamica proceselor chimice departe-de-echilibru. În plus, cum am mai menționat, aceste bucle joacă un rol esențial în funcțiile metabolice, fapt stabilit de biologia moleculară. De exemplu, relația dintre acizii nucleici și proteine se poate descrie în funcție de efectul catalitic încrucișat: acizii nucleici conțin informațiile pentru a produce proteinele, care la rîndul lor produc acizi nucleici.

Pe lîngă vitezele reacţiilor chimice, trebuie să luăm, de asemenea, în considerare vitezele altor procese ireversibile, cum sînt transferul de căldură, difuzia materiei etc. Vitezele proceselor ireversibile se mai numesc şi *fluxuri* şi se înseamnă cu simbolul J. Nu există nici o teorie generală din care să putem deduce forma vitezelor fluxurilor. În cazul reacţiilor chimice, viteza depinde de mecanismul molecular, aşa cum se poate verifica din exemplele date deja în acest capitol. Termodinamica proceselor ireversibile introduce un al doilea tip de mărime: pe lîngă viteze, sau fluxuri, J, ea foloseşte „forţe generalizate" X care „produc" fluxurile. Cel mai simplu exemplu este acela al conductibilităţii căldurii. Legea lui Fourier spune că fluxul de căldură J este proporţional cu gradientul temperaturii. Acest gradient al temperaturii este exact „forţa" ce produce fluxul de căldură. La echilibru termic, fluxul şi forţele dispar prin definiţie. Cum vom vedea, producerea entropiei $P = d_i S/dt$ se poate calcula din flux şi forţe.

Să examinăm definiţia forţei generalizate ce corespunde unei reacţii chimice. Ne întoarcem la reacţia $A + X \rightarrow Y + B$. Am văzut cum, în stare de echilibru, raportul dintre concentraţii este dat de legea acţiunii maselor. Aşa cum a arătat Théophile De Donder, se poate introduce o „forţă chimică", *„afinitatea"* A, care determină sensul vitezei chimice de reacţie în acelaşi fel în care gradientul de temperatură determină sensul fluxului de căldură. În cazul reacţiei pe care o examinăm, afinitatea este proporţională cu

$$\log K \frac{BY}{AX},$$ unde K este constanta de echilibru.

Se vede imediat că afinitatea A se anulează la echilibru. Într-adevăr, atunci, legea acţiunii maselor este valabilă şi avem $\frac{AX}{YB} = K$. Afinitatea creşte (în valoare absolută) cînd îndepărtăm sis-

temul de starea de echilibru. Putem realiza acest lucru eliminînd din sistem o anumită fracțiune de molecule B îndată ce se formează prin reacția $A + X \rightarrow Y + B$. Afinitatea măsoară depărtarea dintre starea reală a sistemului și starea de echilibru. Mai mult, așa cum am menționat, semnul ei determină sensul reacției chimice. Dacă A este pozitiv, atunci sînt „prea multe" molecule B și Y, iar reacția netă se îndreaptă în direcția $B + Y \rightarrow A + X$. Dimpotrivă, dacă A este negativ sînt „prea puține" molecule B și Y, iar reacția netă se îndreaptă în direcția opusă.

Afinitatea, așa cum am definit-o, este un mod de a preciza vechea afinitate a alchimiștilor, în care ei descifrau legăturile selective dintre substanțele chimice, adică „preferințele" și „antipatiile" moleculelor. S-a subliniat adesea ideea că activitatea chimică nu se poate reduce la traiectoriile mecanice, la dominația calmă a legilor dinamice. Nietzsche, de exemplu, a afirmat că e ridicol să vorbești de „legi chimice", de parcă substanțele chimice ar fi conduse de fapt de legi similare legilor morale. În chimie, protesta el, nu există constrîngere și fiecare substanță se comportă cum îi place. Nu este o chestiune de „respect", ci o luptă pentru putere, o dominație neîndurătoare asupra celor slabi de către cei puternici [131]. Echilibrul chimic, cu afinitatea care se reduce la zero, corespunde soluționării acestui conflict. Văzută din acest punct de vedere, specificitatea afinității termodinamice nu face altceva, de fapt, decît să parafrazeze o problemă străveche în limbaj modern [132], adică problema distincției din-

---

[131] Nietzsche F., *Der Wille zur Macht. Sämtliche Werke*, Stuttgart, Kröner, 1964, aforismul 630.

[132] Ce conținut precis se poate da legii generale de creștere a entropiei? Pentru un fizician teoretician ca De Donder, activitatea chimică, care apărea obscură și inaccesibilă mecanicii raționale, era destul de misterioasă pentru a deveni chiar sinonimul procesului ireversibil. Astfel, chimia, la întrebările căreia fizicienii nu au putut răspunde niciodată cu adevărat, și noua enigmă a ireversibilității au venit să se asocieze unei provocări ce n-a mai putut fi ignorată.

tre lumea indiferentă a legii dinamice și lumea activității spontane și productive căreia îi aparțin reacțiile chimice.

Să subliniem distincția de bază care există între fizică și chimie din punct de vedere conceptual. În fizica clasică putem cel puțin să ne gîndim la procese reversibile cum ar fi mișcarea unui pendul fără frecare. A neglija procesele ireversibile, în dinamică corespunde unei idealizări, dar cel puțin în unele cazuri este semnificativă. Situația în chimie este complet diferită. Aici fiecare proces care definește chimia, adică transformările chimice, vitezele de reacție, sînt procese ireversibile. Din această cauză, chimia nu se poate reduce la idealizarea care stă la baza mecanicii clasice sau cuantice, unde trecutul și viitorul joacă roluri echivalente.

Cum era de așteptat, toate procesele ireversibile apar la producerea entropiei. Fiecare dintre ele intră, prin produsul dintre viteza sau fluxul său J, și forța corespunzătoare X. Producerea totală de entropie pe unitatea de timp, $P = d_i S/dt$, este dată de suma acestor contribuții. Fiecare dintre ele apare prin produsul JX.

Putem acum împărți termodinamica în trei domenii mari, al căror studiu corespunde celor trei etape necesare din dezvoltarea sa. Producerea de entropie, fluxurile și forțele sînt nule în *starea de echilibru.* În regiunea *aproape-de-echilibru,* unde forțele termodinamice sînt „slabe", vitezele J_k sînt funcții lineare de forțe. Cel de-al treilea domeniu este numit regiunea *„neliniară"*, deoarece aici vitezele sînt în general funcții mai complicate de forțe. Să subliniem mai întîi cîteva trăsături generale ale termodinamicii lineare ce corespund situațiilor aproape-de-echilibru.

2. Termodinamica lineară

Prima relație generală în termodinamica de non-echilibru a fost descoperită, pentru regiunea lineară, aproape-de-echilibru, de Onsager în 1931.

Acestea sînt celebrele „relații de reciprocitate". Exprimate în termeni calitativi, ele arată că dacă o forță, să spunem „unu" (corespunzînd, de exemplu, unui gradient de temperatură), poate influența un flux „doi" (de exemplu, un proces de difuzie), atunci forța „doi" (un gradient de concentrație) va influența, de exemplu, forța „unu" (fluxul de căldură). S-a observat într-adevăr acest lucru. Ori de cîte ori un gradient termic provoacă o difuzie a materiei, un gradient de concentrație va antrena atunci un flux de căldură de-a lungul sistemului.

Trebuie să insistăm asupra caracterului *general* al relațiilor lui Onsager. Este indiferent, de exemplu, dacă procesele ireversibile au loc în mediu gazos, lichid sau solid. Expresiile de reciprocitate sînt valabile independent de orice ipoteze microscopice.

Natura generală a expresiilor de reciprocitate a fost primul rezultat în domeniul termodinamicii fenomenelor ireversibile care arată că aceasta nu a fost un *no-man's-land* prost definit ci un subiect de studiu posibil, a cărui fertilitate se poate compara cu cea a termodinamicii de echilibru. Termodinamica de echilibru a fost o realizare a secolului al XIX-lea, termodinamica de non-echilibru este o realizare a secolului al XX-lea și relațiile lui Onsager au constituit punctul crucial în transferul de interes de la echilibru la non-echilibru.

Există un al doilea rezultat general în acest domeniu al termodinamicii *lineare* de non-echilibru. Am vorbit deja despre potențialele termodinamice ale căror valori extreme corespund stărilor de echilibru către care tinde în mod ireversibil evoluția termodinamică. Astfel este entropia S pentru sistemele izolate, și energia liberă F pentru sistemele închise la o temperatură dată. Termodinamica sistemelor aproape-de-echilibru introduce, de asemenea, o astfel de funcție potențială. Este cu totul remarcabil faptul că aici această funcție potențială este însăși *producerea de entropie*, P. Teorema producerii minimale de entro-

pie arată, de fapt, că în domeniul de valabilitate al relațiilor lui Onsager, adică în domeniul linear, un sistem evoluează către o stare staționară caracterizată de producerea de entropie *minimă* compatibilă cu constrîngerile impuse sistemului. Aceste constrîngeri sînt determinate de condițiile la limită. Ele pot, de exemplu, să corespundă la două puncte din sistem ce sînt ținute la diferite temperaturi, sau unui flux de materie care alimentează în mod continuu o reacție și elimină produșii săi.

Starea staționară către care evoluează sistemul este atunci în mod necesar o stare de non-echilibru unde apar procesele disipative cu viteze ne-nule. Dar, fiind vorba de o stare staționară, toate mărimile care descriu sistemul, cum sînt concentrațiile de temperatură, devin independente de timp. În mod asemănător, entropia sistemului devine acum independentă de timp. Ca urmare, variația în funcție de timp e nulă $dS = 0$. Dar am văzut că variația în timp a entropiei este formată din doi termeni: fluxul de entropie d_eS și producerea de entropie pozitivă d_iS. Prin urmare, $dS = 0$ înseamnă că $d_eS = -d_iS < 0$. Fluxul de căldură sau materie ce provine din mediul înconjurător duce spre un flux negativ de entropie d_eS care este, totuși, legat de producerea de entropie d_iS datorată proceselor ireversibile din interiorul sistemului. Un flux negativ d_eS înseamnă că sistemul transferă entropie mediului. De aceea, în stare staționară, activitatea sistemului sporește continuu entropia mediului. Acest lucru este adevărat pentru toate stările staționare. Dar teorema producerii minime de entropie spune mai mult. Starea staționară particulară către care tinde sistemul este aceea în care acest transfer de entropie către mediu este atît de mic încît este incompatibil cu condițiile la limită impuse. În acest context, starea de echilibru corespunde cazului special cînd condițiile la limită permit o producere de entropie egală cu zero. Cu alte cuvinte, teorema producerii minime de entropie

exprimă un gen de „inerție". Cînd condițiile la limită împiedică sistemul să ajungă în starea de echilibru acesta face următorul și cel mai bun lucru posibil: se îndreaptă spre o stare de producere de minimă entropie, adică, spre o stare „cît mai" aproape de echilibru.

Termodinamica lineară descrie astfel comportamentul stabil, previzibil al sistemelor care tind spre nivelul minim de activitate, compatibil cu fluxurile care-l alimentează. Faptul că termodinamica lineară, ca și termodinamica echilibrului, se poate descrie în funcție de un potențial, producerea de entropie, înseamnă că, atît în cadrul evoluției către echilibru cît și în evoluția către o stare staționară, condițiile inițiale sînt uitate. Oricare ar fi condițiile inițiale, sistemul atinge în final aceeași stare determinată de condițiile la limită impuse. În consecință, reacția unui astfel de sistem la orice schimbare a condițiilor la limită este în întregime previzibilă.

Putem observa că în domeniul linear, rolul jucat de procesele ireversibile este în esență același cu cel din starea de echilibru. Deși producerea de entropie nu este nulă, ea nu împiedică, totuși, schimbarea ireversibilă de a fi o evoluție către o stare care se poate deduce în întregime din legile generale. Nu există nici o specificitate în această „devenire". O singură descriere rămîne valabilă. Carnot sau Darwin, acest paradox rămîne nerezolvat. Nu avem încă nici o legătură între apariția formelor naturale organizate, pe de o parte, și tendința către „uitarea condițiilor inițiale și dezorganizare, pe de altă parte.

3. Departe-de-echilibru

La originea dezvoltării termodinamicii nelineare se află o constatare al cărei punct de atracție este cu atît mai surprinzător cu cît se are în vedere faptul că la început părea a fi mai mult un eșec: în ciuda unui mare efort părea imposibil să se

găsească o generalizare a teoremei producerii minime de entropie pentru sistemele în care fluxurile nu sînt funcţiuni lineare de forţe. Departe-de-echilibru, sistemul poate încă evolua către o stare staţionară, dar această stare nu mai poate fi caracterizată în funcţie de un potenţial potrivit ales (cum ar fi producerea entropiei pentru stările aproape de echilibru).

Absenţa oricărei funcţii de potenţial i-au condus pe Glansdorff şi Prigogine spre o nouă întrebare: Ce putem spune despre stabilitatea stărilor către care evoluează sistemul? Într-adevăr, cît timp starea de atracţie este definită de minimul unui potenţial, precum producerea de entropie, stabilitatea sa este garantată. Este adevărat că o fluctuaţie poate îndepărta sistemul de acest minim. Însă cea de-a doua lege a termodinamicii impune întoarcerea către „starea de atracţie". Sistemul este astfel „imun" faţă de fluctuaţii. Ori de cîte ori se poate defini un potenţial, descriem, deci, o *„lume stabilă"* în care sistemele urmează o evoluţie ce le conduce spre o situaţie statică definitivă.

Totuşi, cînd forţele termodinamice ce acţionează asupra unui sistem ating valori care depăşesc regimul linear, stabilitatea stării staţionare sau independenţa ei faţă de fluctuaţii nu mai poate fi garantată. Stabilitatea nu mai este consecinţa legilor generale ale fizicii. Posibilitatea de apariţie a instabilităţii trebuie studiată cu atenţie. Devine necesar să se examineze felul în care reacţionează o stare staţionară la diferite tipuri de fluctuaţii produse de sistem sau de mediul său înconjurător. În unele cazuri analiza demonstrează că o stare este „instabilă", adică anumite fluctuaţii în loc să regreseze pot fi amplificate şi invadează întregul sistem, obligîndu-l să evolueze către un nou regim care poate fi calitativ destul de diferit de stările staţionare corespunzătoare producerii minime de entropie.

Termodinamica ne conduce, prin urmare, la o concluzie importantă privind sistemele care pot să scape de tipul de ordine ce determină echilibrul.

Aceste sisteme trebuie să se găsească *„departe-de-echilibru"*. În fiecare caz în care instabilitatea este posibilă trebuie să stabilim punctul de plecare, distanța față de echilibru, de unde fluctuațiile pot conduce către un nou comportament fundamental diferit de comportamentul stabil „normal" caracteristic sistemelor de echilibru sau sistemelor aproape-de-echilibru.

De ce este această concluzie atît de interesantă?

Fenomenele de acest fel sînt bine cunoscute în domeniul hidrodinamicii și curgerii fluidelor. De exemplu, se știa de mult că în momentul cînd se atinge o anumită viteză de scurgere, poate apare turbulența în fluid. Michel Serres a reamintit recent [133] că vechii atomiști erau atît de preocupați de curgerea turbulentă încît părea justificat să considere turbulența ca o sursă fundamentală de inspirație în fizica lucrețiană. Uneori, scria Lucrețiu, în momente și locuri neprecizate, căderea universală, eternă, de atomi este perturbată de o foarte mică deviere — „clinamenul". Turbionul rezultat dă naștere unui univers, unei totalități de lucruri naturale. Clinamenul, această deviație spontană, imprevizibilă a fost deseori criticată ca una din slăbiciunile esențiale ale fizicii lucreține, ca fiind un artificiu introdus *ad-hoc*. Dar nu este această cunoaștere, dimpotrivă, o expresie a faptului că fluxul laminar poate înceta să mai fie stabil și, *în mod spontan*, să se transforme într-o curgere turbulentă? Astăzi experții în hidrodinamică testează stabilitatea curgerii fluidului prin introducerea unei perturbații care exprimă efectul dezordinii moleculare adăugat la fluxul mediu. Nu sîntem, prin urmare, atît de departe de clinamenul lui Lucrețiu!

Multă vreme turbulența a fost identificată cu dezordinea sau cu zgomotul. Astăzi, știm, totuși, că lucrurile nu stau astfel. În timp ce mișcarea turbulentă la scară macroscopică este neregu-

---

[133] *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*, op. cit.

lată sau haotică, la scară microscopică ea este, dimpotrivă, foarte organizată. Multiplele scări ale timpului și spațiului implicate în turbulență corespund unui comportament coerent al milioanelor de milioane de molecule. Văzută în acest fel trecerea de la fluxul laminar la turbulență este un proces de autoorganizare. O parte a energiei sistemului, care în fluxul laminar se află în mișcarea termică a moleculelor, este transferată mișcării macroscopice organizate.

„Instabilitatea lui Bénard" este un alt exemplu remarcabil al instabilității unei stări staționare ce dă naștere unui fenomen spontan de autoorganizare. Instabilitatea se datorește unui gradient vertical de temperatură format într-un strat de lichid orizontal. Suprafața inferioară a acestuia este încălzită la o temperatură dată, care este mai ridicată decît cea a suprafeței superioare. Drept rezultat al acestor condiții la limită, se produce un flux de căldură permanent de jos în sus. Cînd gradientul impus atinge o valoare de prag, starea de repaos a fluidului, adică starea staționară, unde căldura se transmite prin difuzie fără nici un efect de convecție, devine instabilă. Un fenomen de convecție corespunzător unei mișcări coerente a unui ansamblu de molecule se produce și accelerează transportul de căldură. De aceea, pentru valori date ale constrîngerilor (gradientului de temperatură) producția de entropie a sistemului crește, în contrast cu teorema producerii minime de entropie. Instabilitatea lui Bénard este un fenomen spectaculos. Mișcarea de convecție care se produce de fapt constă dintr-o organizare spațială complexă a sistemului. Milioane și milioane de molecule se mișcă coerent, formînd celule de convecție hexagonale de mărime caracteristică.

În capitolul IV am prezentat principiul de ordine al lui Boltzmann care leagă entropia de probabilitate așa cum este exprimată de numărul de îmbinări P. Putem aplica această relație aici? Fiecărei distribuții de viteze a moleculelor îi

corespunde într-adevăr un număr de îmbinări. Acest număr măsoară de fapt numărul modurilor în care putem realiza distribuția vitezelor prin atribuirea unei viteze fiecărei molecule. Argumentul este asemănător cu cel din capitolul IV unde am exprimat numărul de îmbinări în funcție de distribuțiile moleculelor în cele două compartimente. Și aici numărul de îmbinări este, de asemenea, mare, cînd există dezordine, adică o mare dispersie a vitezelor. Totuși mișcarea coerentă semnifică faptul că multe molecule circulă cu aproape aceeași viteză (mică dispersie a vitezelor).

Unei astfel de distribuții îi corespunde un număr de îmbinări P atît de scăzut încît se pare că nu ar exista practic nici o șansă să apară un astfel de fenomen de autoorganizare. Totuși el apare ! Vedem deci că aplicarea conceptului de *probabilitate* bazat pe un calcul al numărului de îmbinări devine înșelătoare. Irelevanța sa este în mod special evidentă în ceea ce privește *geneza* noului comportament. În cazul instabilității lui Bénard, *o fluctuație*, un curent microscopic de convecție care ar fi fost condamnat la regresie prin aplicarea principiului de ordine al lui Boltzmann, este amplificată pînă cînd invadează întregul sistem. Peste valoarea critică a gradientului impus, s-a stabilit în mod spontan o nouă ordine moleculară. Ea corespunde unei fluctuații uriașe fixată prin schimburile de energie cu lumea exterioară.

În condiții departe-de-echilibru, conceptul de probabilitate care susține principiul de ordine al lui Boltzmann nu mai este valabil. Și în același timp, tendința de uniformizare și uitare a condițiilor inițiale nu mai este o proprietate generală. În acest context, vechea problemă a originii vieții ne apare într-o perspectivă diferită. Este, desigur, adevărat că viața este incompatibilă cu principiul de ordine al lui Boltzmann dar nu și cu comportamentul care poate apărea în condițiile departe-de-echilibru.

Termodinamica clasică ne conduce către conceptul de „structuri de echilibru", cum sînt cris-

talele. Celulele lui Bénard sînt, de asemenea, exemple ale unei structuri, dar de o natură destul de diferită. Am introdus conceptul de „structuri disipative" tocmai pentru a accentua legătura strînsă, la început paradoxală, care poate exista între structură și ordine, pe de o parte, și disipație sau pierderi, pe de altă parte. Am văzut în Capitolul IV că transferul de căldură era considerat într-adevăr ca o sursă de pierdere de randament în termodinamica clasică. În celula lui Bénard, el devine o sursă de ordine.

Interacțiunea unui sistem cu lumea exterioară, introducerea sa în condițiile de non-echilibru, poate deveni în acest fel punctul de plecare pentru constituirea de noi forme dinamice de materie, structurile disipative. Ele corespund de fapt unei forme de organizare *supramoleculare*. În timp ce parametrii care descriu structura cristalină pot deriva din proprietățile moleculelor din care aceasta este formată, și în special din sfera forțelor lor de atracție și de respingere, celulele lui Bénard, ca toate structurile disipative, sînt esențialmente o reflectare a situației *globale* de non-echilibru care le-a creat. Parametrii care le descriu sînt macroscopici; nu sînt de ordinul a 10^{-8} cm, cum este distanța dintre moleculele unui cristal, ci de ordinul centimetrilor. În mod asemănător, scările timpului sînt diferite — ele corespund nu timpului molecular (ca perioadele de vibrație ale moleculelor individuale care pot corespunde unui timp de 10^{-15} sec) ci timpului macroscopic, secundelor, minutelor sau orelor.

Să revenim la cazul reacțiilor chimice. Există cîteva diferențe de bază în problema Benard. În celula lui Benard instabilitatea are o origine mecanică simplă. Cînd încălzim partea de jos a lichidului, stratul inferior al fluidului devine mai puțin dens și centrul de greutate se deplasează spre stratul superior. De aceea nu este surprinzător faptul că peste unele puncte critice sistemul devine instabil și convecția se instalează,

Dar în sistemele chimice nu există caracteristici mecanice de acest fel. Trebuie să ne aşteptăm la procesul de autoorganizare în întregime? Imaginea noastră despre reacţiile chimice corespunde cu moleculele ce zboară prin spaţiu, ciocnindu-se la întîmplare, în mod haotic. O astfel de imagine nu lasă loc unei autoorganizări, şi acesta poate fi unul din motivele pentru care instabilităţile chimice sînt un subiect destul de recent. Mai există şi o altă diferenţă. *Toate* fluxurile devin turbulente la o distanţă „suficient" de mare de echilibru (punctul de plecare este măsurat de numere adimensionale precum numerele lui Reynold). Acest lucru nu este valabil pentru reacţiile chimice. Condiţiile departe-de-echilibru sînt doar o cerinţă necesară dar nu suficientă. Pentru majoritatea sistemelor chimice, oricare ar fi restricţiile impuse şi viteza transformărilor chimice ce se produc, *starea staţionară rămîne stabilă* şi fluctuaţiile arbitrare se amortizează ca în cazul domeniului aproape-de-echilibru. Acesta este în special cazul sistemelor în care avem un lanţ de transformări de tipul $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \ldots$ şi care se descriu prin ecuaţii diferenţiale *lineare.*

Soarta fluctuaţiilor care tulbură sistemul chimic, ca şi tipul de situaţii noi către care acesta poate evolua, depind de mecanismul detaliat al reacţiilor chimice. În comparaţie cu situaţiile aproape-de-echilibru, comportamentul unui sistem departe-de-echilibru devine cît se poate de specific. Nu mai există nici o lege universal valabilă din care să se deducă comportamentul general al sistemului. Fiecare sistem este un caz separat, fiecare ansamblu de reacţii chimice trebuie explorat şi poate foarte bine produce un comportament calitativ distinct.

Cu toate acestea, s-a obţinut un rezultat general, adică o condiţie necesară instabilităţii chimice: într-un lanţ de reacţii chimice dintr-un sistem, *singurele etape de reacţie* care, în anumite condiţii

și împrejurări, pot periclita stabilitatea stării staționare sînt în mod precis „buclele catalitice", adică etapele în care produsul unei reacții chimice este implicat în propria sa sinteză. Aceasta este o concluzie interesantă, deoarece ne apropie de unele realizări de bază ale biologiei moleculare moderne.

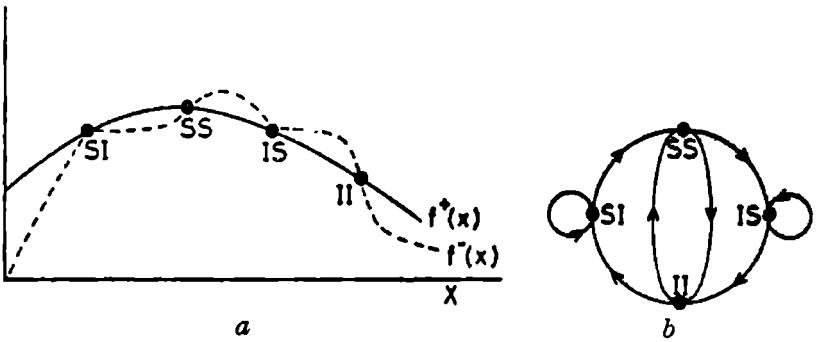

FIG. 4. Treptele reacționale din cauza cărora se modifică, direct nu indirect, viteza unui proces de reacție corespund, în ecuațiile diferențiale care descriu evoluția concentrațiilor chimice, unor *termeni nelineari*. În cazul unor probleme variabile uni-independente acest lucru înseamnă apariția unui termen acolo unde această variabilă are o putere mai mare ca unu. În acest simplu caz este ușor să vezi relația dintre astfel de termeni neliniari și instabilitatea potențială a stării staționare. Să luăm pentru variabila independentă X, $dX/dt = f(X)$. Se poate disocia întotdeauna $f(x)$ în două funcții ($f_-(X)$ și $f_+(X)$, pe care le definim ca pozitive sau egal cu zero și astfel $f(X) = f_+(X) - f_-(X)$. În această reprezentare, stările staționare corespund valorilor lui X astfel încît $f_+(X) = f_-(X)$. În mod grafic, ele corespund punctelor de intersecție ale celor două curse care reprezintă aceste două funcții. Este clar că dacă $f(X)$ este o ecuație liniară, $f_+(X)$ și $f_-(X)$ dacă nu sînt egale cu zero, sînt linii drepte și nu poate exista decît un punct de intersecție. În alte cazuri felul intersecției permite prezicerea stabilității stării staționare. Sînt posibile patru cazuri distincte care sînt reprezentate în figura 4a; starea poate fi stabilă în privința fluctuațiilor negative și instabilă în privința celor pozitive (SI); ea poate fi stabilă în privința oricărei fluctuații (SS); ea poate fi stabilă doar în privința fluctuațiilor negative (IS) și în final instabilă în privința oricărei fluctuații (II). În cazul II de exemplu, dacă $\delta X > 0$, $f_+(X + \delta X) > f_-(X + \delta X)$ și $dX/dt > 0$ dacă $\delta X < 0$, $f_+(X - \delta X) < f_-(X - \delta X)$ și $dX/dt < 0$. Astfel oricare ar fi complexitatea curbelor, succesiunea de tipuri de stări staționare este supusă unor condiții stricte; figura V-2-b dă toate succesiunile posibile ale unui lanț stabilite pentru valorile crescînde ale lui X.

4. Dincolo de pragul instabilității chimice

Studiul instabilităților chimice este astăzi un domeniu cît se poate de popular. Atît cercetările experimentale cît și investigațiile teoretice sînt continuate în numeroase instituții și laboratoare în întreaga lume. Într-adevăr, precum se va vedea, aceste investigații stîrnesc interesul unui mare număr de oameni de știință, nu numai matematicieni, fizicieni, chimiști, biologi, ci și economiști și sociologi.

Dincolo de pragul instabilității chimice, în condițiile departe-de-echilibru pot apărea diferite noi fenomene. Pentru a le descrie într-un mod concret este necesar să începem cu un model teoretic simplificat. Acest model se studiază la Bruxelles încă de acum zece ani. Un grup american l-a poreclit „Brusselator", nume ce a fost reținut în literatura de specialitate. Asemenea derivări de la denumiri geografice par a fi devenit o regulă astăzi în acest domeniu. În afară de „Brusselator" există un „Oregonator" și, mai recent, un „Paloaltonator" !

Să descriem pe scurt Brusselatorul. Etapele răspunzătoare pentru instabilitate au fost deja introduse (fig. 3). Produsul X sintetizat din A și descompus în forma lui E este legat printr-o relație de cataliză încrucișată de produsul Y: X se produce din Y printr-o etapă trimoleculară și, invers, Y este sintetizat printr-o reacție între X și un produs B. În acest model, concentrațiile produselor A, B, D, E sînt parametrii dați (așa-numitele substanțe „de control"). Comportamentul sistemului este explorat pentru valori crescînde ale lui B, A rămînînd constant. Starea staționară către care un astfel de sistem tinde să evolueze, adică starea pentru care $dX/dt = dY/dt = 0$, corespunde concentrațiilor $X_0 = A$ și $Y_0 = B/A$.

Acest lucru poate fi ușor verificat scriind ecuațiile cinetice și căutînd starea staționară. Totuși, această stare staționară încetează să mai fie stabilă de îndată ce concentrația lui B depășește un

prag critic (toate celelalte rămînînd constante). După ce s-a atins pragul critic, starea staţionară devine un „centru" instabil şi sistemul lasă acest centru să atingă un „ciclu limită" (fig. 5).

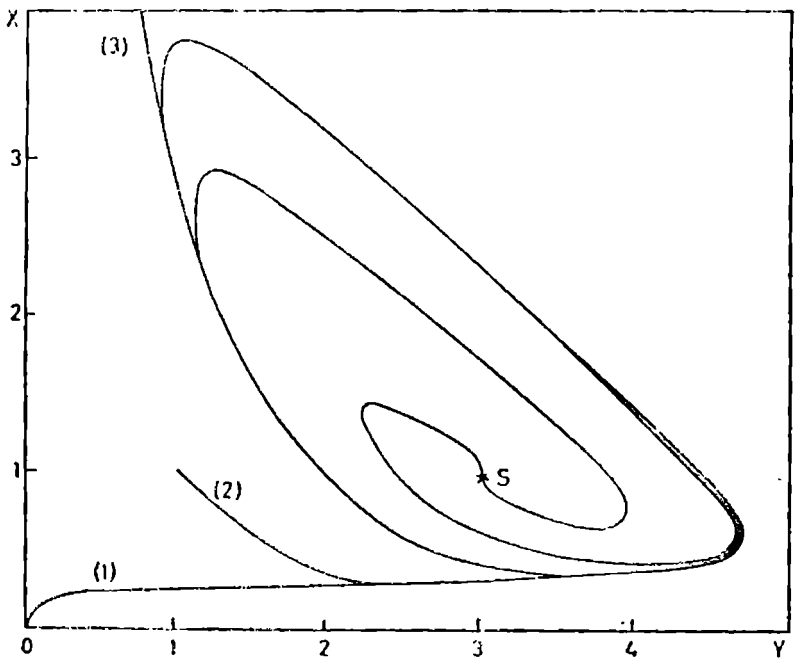

FIG. 5. *Ciclul limită:* focarul ciclului este starea staţionară care este instabilă pentru B mai mare ca $1 + A^2$. Toate traiectoriile (sînt reprezentate cinci), oricare ar fi starea lor iniţială, duc la ciclu.

În loc să rămînă staţionare, concentraţiile lui X şi Y încep să oscileze cu o perioadă bine definită. Perioada de oscilaţie depinde atît de constantele cinetice care caracterizează vitezele de reacţie cît şi de condiţiile la limită impuse întregului sistem (de exemplu, temperatura, concentraţia lui A, B, etc....).

Comportamentul periodic adoptat de sistem este stabil. Dincolo de pragul critic sistemul părăseşte starea staţionară $X_0 = A$, $Y_0 = \frac{B}{A}$, ca rezultat al fluctuaţiilor. În plus, oricare ar fi fost condiţiile iniţiale, el se apropie de ciclul limită. Avem, prin urmare, un proces chimic periodic — un ceas chi-

mic. Să ne oprim un moment pentru a sublinia cît de neașteptat este un astfel de fenomen. Să presupunem că avem două feluri de molecule, „roșii" și „albastre". Din cauza mișcării haotice a moleculelor, ne așteptăm ca la un moment dat să avem mai multe molecule roșii, să spunem în partea stîngă a recipientului. Apoi mai tîrziu vor apare mai multe molecule albastre și așa mai departe. Recipientul ne va apare „violet" cu sclipiri neregulate, ocazionale roșii sau albastre. Acest lucru *nu* se petrece cu un ceas chimic. Aici sistemul este în întregime albastru, apoi brusc își schimbă culoarea în roșu, apoi din nou în albastru. Pentru că toate aceste schimbări au loc la intervale de timp *regulate*, avem deci un proces coerent.

O astfel de ordine ce își are originea în activitatea a milioane și milioane de molecule pare incredibilă și, într-adevăr, dacă ceasurile chimice nu ar fi fost observate, nimeni n-ar fi crezut. Pentru a-și schimba culoarea toate deodată, moleculele trebuie să *„comunice"*. Sistemul trebuie să se comporte ca un *întreg*. Ne vom întoarce în mod repetat la acest cuvînt cheie: *a comunica*, un cuvînt care are o importanță evidentă începînd cu chimia și sfîrșind cu neurofiziologia. Structurile disipative aduc cu ele ceea ce este, probabil, unul din mecanismele fizice cele mai simple pentru comunicare.

Dar ceasurile chimice nu sînt singurul tip de autoorganizare. Pînă acum difuzia a fost neglijată. Se presupunea că toate substanțele sînt egal distribuite în spațiul de reacție. Aceasta este o idealizare. Fluctuațiile mici vor duce întotdeauna la diferențe în concentrații și în difuzie. Trebuie, prin urmare, să adăugăm difuzia la ecuațiile reacțiilor chimice. Ecuațiile reacție-difuzie ale Brusselator-ului manifestă o sferă de comportament uimitoare, accesibilă acestui sistem. Într-adevăr, în timp ce în starea de echilibru și aproape-de-echilibru sistemul rămîne spațial omogen, difuzia substanțelor chimice prin sistem antrenează în porțiunea departe-de-echilibru posibilitatea unor noi tipuri de instabilitate, incluzînd amplificarea

fluctuațiilor care alterează simetria spațială inițială. Oscilațiile în timp, ceasurile chimice, încetează astfel să mai fie singura structură disipativă accesibilă sistemului. Pe de o parte, de exemplu, pot apare oscilații care sînt acum dependente de timp și spațiu. Ele corespund undelor chimice ale concentrațiilor lui X și Y care parcurg periodic sistemul (fig. 6).

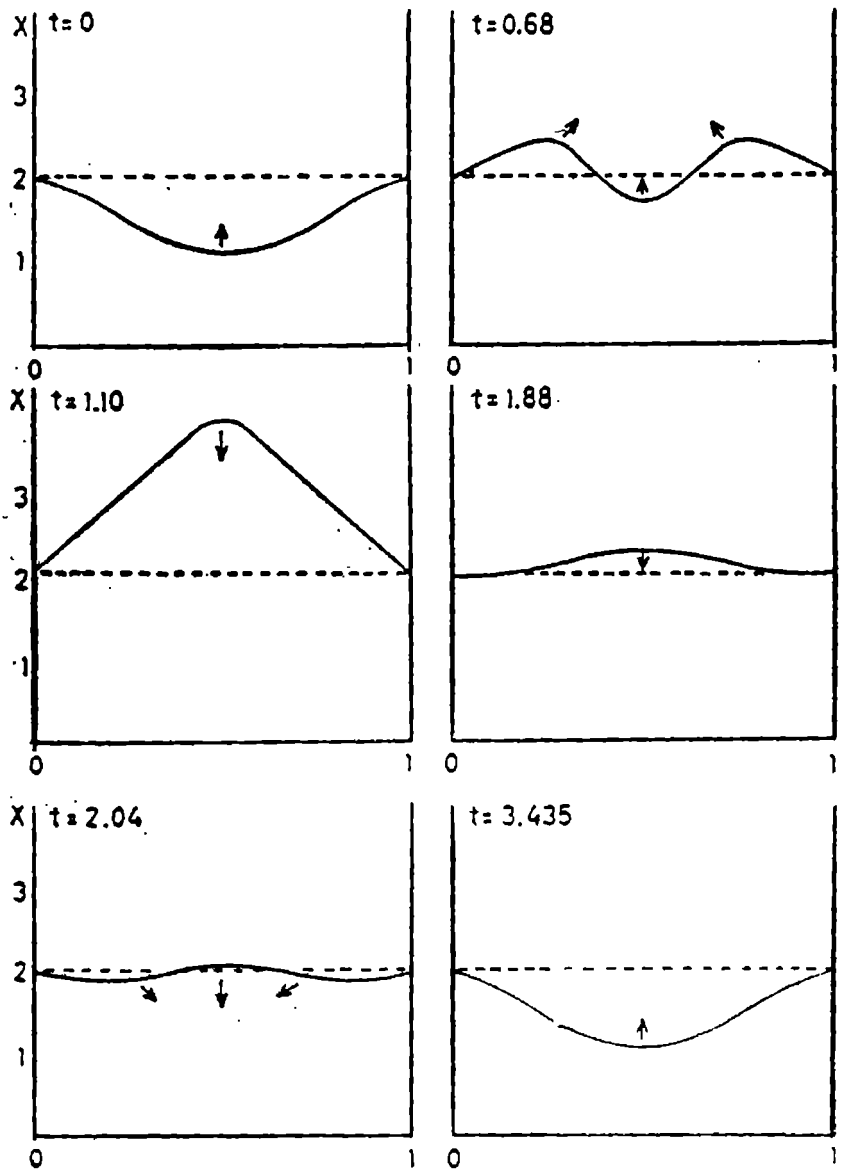

FIG. 6. Unda chimică stimulată pe computer cu parametri nedimensionați $D_X = 8 \cdot 10^{-3}$, $D_Y = 4 \cdot 10^{-3}$, $A = 2$, $B = 5{,}45$ (D_X și D_Y sînt coeficienții de difuziune).

În plus, în special cînd valorile constantelor de difuzie ale lui X și Y sînt destul de diferite una de alta, sistemul poate adopta un comportament care nu mai este periodic ci staționar, și poate apare o structură spațială stabilă.

Trebuie să ne oprim din nou aici pentru a sublinia cît de mult formele structurii spațiale spontane nu ascultă de legile fizicii echilibrului, de principiul de ordine al lui Boltzmann. Numărul de îmbinări va fi din nou ridicol de mic în comparație cu ceea ce corespunde unei distribuții uniforme. Totuși, procesele de non-echilibru pot duce la acele situații care ar fi imposibile într-un cadru conceptual clasic.

Numărul de structuri disipative diferite, compatibile cu un ansamblu dat de condiții la limită poate fi mai departe mărit cînd, în loc de a studia problema într-o singură dimensiune, ea este studiată în două sau trei dimensiuni. Într-un spațiu circular, bidimensional, de exemplu, starea staționară structurată spațial se poate caracteriza prin apariția unei axe privilegiate (fig. 7).

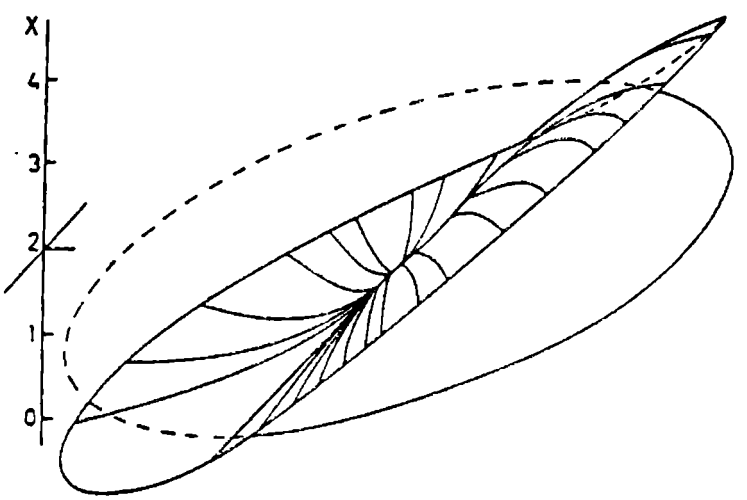

FIG. 7. Stare staționară cu axă privilegiată obținută prin stimularea computerului cu parametrii nedimensionați. $D_X = 3{,}25\ 10^{-3}$, $D_Y = 1{,}62\ 10^{-2}$, $A = 2$, $B = 4, 6$, $R = 0{,}1$.

Acesta corespunde unui proces nou de rupere a simetriei extrem de interesant, în special cînd nu se uită faptul că una din primele etape ale morfogenezei embrionului o constituie formarea unui gradient în sistem. Vom reveni la aceste probleme în acest capitol precum și în capitolul VI.

Pînă acum s-a presupus că „substanțele de control" (A, B, D, E) sînt distribuite uniform în întregul sistem reacțional. Dacă se renunță la această simplificare poate apare un fenomen suplimentar. De exemplu, sistemul capătă o „dimensiune naturală" care este o funcție de parametri care descriu sistemul. Acesta își determină în acest fel dimensiunea sa intrisecă, adică determină porțiunea care este spațial structurată sau străbătută de unde de concentrație periodice.

Aceste rezultate dau numai o imagine foarte incompletă a varietății fenomenelor care se pot produce departe-de-echilibru. Vom menționa aici posibilitatea multiplelor stări departe-de-echilibru. În condiții la limită date, poate apărea mai mult decît o stare staționară, adică una bogată în substanța chimică X și o alta săracă în această substanță. Trecerea de la o stare la alta joacă un rol important în mecanismele de control, așa cum au fost descrise în sistemele biologice.

Încă din opera clasică a lui Lyapounov și Poincaré, punctele caracteristice de tipul focarului sau liniile de tipul ciclurilor limită erau cunoscute de către matematicieni ca „atractori" ai sistemelor stabile. Ceea ce apare nou este folosirea lor în cazul sistemelor chimice. Merită să subliniem faptul că prima lucrare care s-a ocupat de instabilitățile din sistemele de reacție-difuzie i-o datorăm lui Turing (1952). În ultimii ani au fost identificate tipuri noi de atractori. Ei pot apare atunci cînd crește numărul de variabile independente (există două variabile independente în Brusse-

lator, variabilele X și Y). În special, putem obține „atractori ciudați" care nu corespund unui comportament periodic.

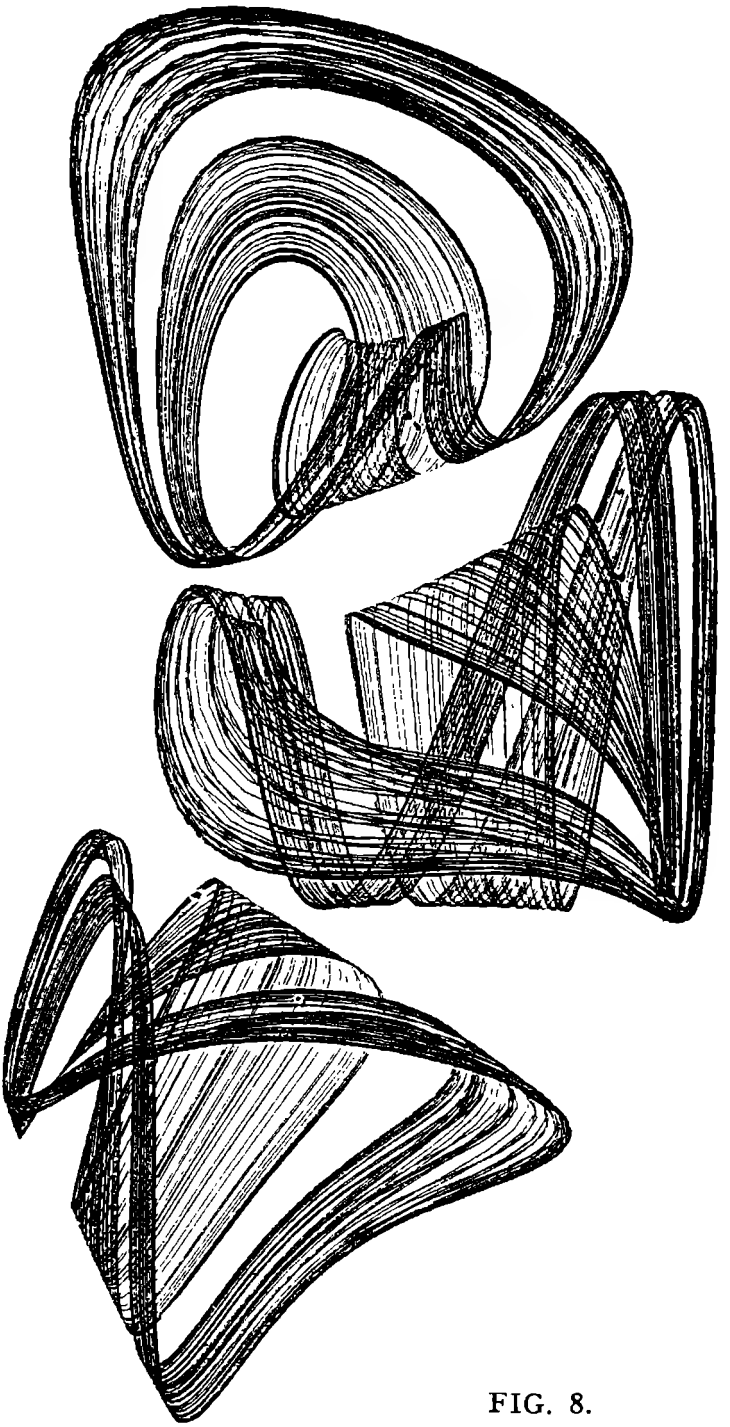

FIG. 8.

Figura 8 datorată lui Hao Bai Lin reprezintă un astfel de atractor foarte complicat calculat

pentru un model care generează Brusselatorul prin adăugarea a două variabile suplimentare (sau, în mod echivalent, a unei alimentări periodice externe cu X). Este remarcabil faptul că majoritatea posibilităţilor pe care le-am descris au fost într-adevăr observate în chimia anorganică, în chimia atmosferică, ca şi într-un număr de situaţii biologice.

În chimia anorganică exemplul cel mai bun este reacţia Belousov-Zhabotinsky descoperită şi studiată la începutul anilor '60. Schema corespunzătoare reacţiei este „Oregonatorul" introdus de Noyes şi colegii lui, care în esenţă este similară cu „Brusselatorul", deşi acesta este mai complex. Reacţia Belousov-Zhabotinsky constă din extinderea unui acid organic (de exemplu, acidul malonic) printr-un bromat de potasiu în prezenţa unui catalizator potrivit, ceriu, magneziu sau feroina.

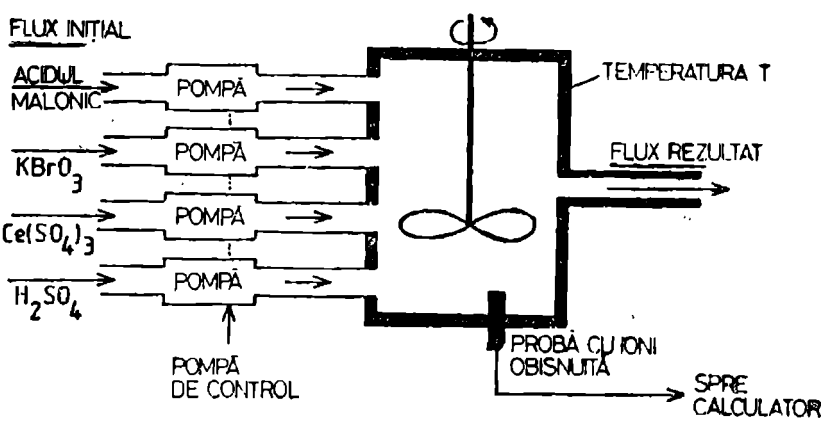

FIG. 9. Reacţia Belousov-Zhabotinsky. Reacţia are peste 30 de produşi şi intermediari de reacţie.

Condiţii experimentale diferite pot produce sub diferite forme de autoorganizare în cadrul unuia şi aceluiaşi sistem, adică, într-un ceas chimic, o diferenţiere spaţială stabilă sau formarea undelor de activitate chimică pe distanţe macroscopice [134].

[134] Vezi, de exemplu, Winfree A., „Rotating Chemical Reactions" în *Scientific American*, vol. 230, 1974, p. 82—95.

Să ne întoarcem acum la problema care prezintă cel mai mare interes conceptual, aceea a aplicării acestor rezultate la înțelegerea sistemelor vii.

5. Întîlnirea cu biologia moleculară

În secțiunile precedente ale acestui capitol, am arătat că în condițiile departe-de-echilibru pot apărea diferite tipuri de procese de autoorganizare. Ele pot duce la apariția oscilațiilor chimice sau la structuri spațiale. Condiția periodică pentru apariția unor astfel de fenomene este existența efectelor catalitice.

În timp ce reacțiile „nelineare", al căror efect (adică prezența produsului de reacție) au o acțiune de reacție inversă asupra „cauzei", sînt comparativ rare în lumea anorganică, biologia moleculară a descoperit că ele constituie practic regula în cazul sistemelor vii. Autocataliza (prezența lui X accelerează propria sa sinteză), autoinhibiția (prezența lui X blochează cataliza necesară sintezei lui X), cataliza încrucișată (două produse aparținînd la două lanțuri de reacție diferite activează sinteza reciprocă) constituie mecanismul clasic de reglare care asigură coerența funcțiunii metabolice.

Să ne oprim acum asupra unei diferențe interesante. În exemplele cunoscute în chimia anorganică, moleculele implicate într-o reacție sînt simple în timp ce mecanismele de reacție sînt complexe; în reacția lui Zhabotinsky au fost identificați de exemplu aproximativ treizeci de compuși. În cazul numeroaselor exemple biologice pe care le avem, dimpotrivă, schema reacției este simplă în timp ce moleculele (proteine, acizi nucleici) sînt foarte complexe și specifice. Acest lucru este departe de a fi o întîmplare. Ne întîlnim aici cu un prim element ce marchează distanța dintre fizică și biologie. Sistemele biologice *au un trecut*. Moleculele lor constitutive sînt rezul-

tatul unei evoluții; ele au fost selectate pentru a face parte din mecanismele autocatalitice, pentru a produce forme foarte specifice de procese de organizare.

O descriere a rețelei de activări și inhibiții metabolice constituie o treaptă esențială în înțelegerea logicii funcționale a sistemelor biologice. Aceasta include declanșarea sintezelor în momentul în care ele sînt necesare și blocarea acelor reacții chimice ale căror produse neutilizate se acumulează în celulă.

Mecanismul de bază prin care biologia moleculară explică transmiterea și exploatarea informației genetice constituie el însuși un mecanism „nelinear", o buclă de reacție inversă. Acidul dezoxiribonucleic (ADN) care conține în formă secvențională informația necesară sintezei diferitelor proteine care stau la baza funcționării și structurii celulare, participă la un lanț de reacții în timpul cărora această informație este *tradusă* sub formă de diferite secvențe proteice. Printre proteinele sintetizate, unele enzime exercită o acțiune de reacție inversă prin care sînt activate și controlate nu numai diferite etape de traducere ci și mecanismul autocatalitic de răspuns al ADN-ului, cu ajutorul căruia informația genetică este copiată în același ritm în care se multiplică celulele.

Avem aici un caz remarcabil de convergență în istoria științelor. Nivelul de înțelegere la care am ajuns necesită din partea fizicii și a biologiei două mișcări complementare (la care de altfel am asistat în ultimele decade): una spre complex, iar cealaltă spre elementar.

Din punctul de vedere al fizicii, aceasta implică o explorare a situațiilor „complexe" care sînt mult îndepărtate de situațiile ideale pe care le putem descrie în funcție de conceptele fundamentale ale termodinamicii de echilibru. Pe de altă parte, biologia moleculară a reușit să pună în legătură structurile vii cu un număr relativ mic de biomolecule de bază. Ea a descoperit, investigînd diversitatea mecanismelor chimice, comple-

xitatea lanţurilor de reacţie metabolice, logica subtilă şi complexă a controlului, inhibiţia şi activarea funcţiei catalitice a enzimelor asociate cu etapele critice ale fiecărui lanţ metabolic. În acest fel biologia moleculară furnizează baza microscopică pentru instabilităţile care pot apărea în condiţiile stării departe-de-echilibru.

Într-un fel, sistemele vii apar ca o fabrică, pe de o parte, ca locul multiplelor transformări chimice, pe de altă parte, ele prezintă o organizare „spaţiu-timp" remarcabilă, cu o distribuţie extrem de neuniformă a materialului biochimic. Putem acum să legăm strîns aceste două aspecte, funcţia şi structura. Să considerăm pe scurt două exemple care s-au studiat exclusiv în ultimii ani.

Mai întîi să luăm exemplul glicolizei, lanţul de reacţie metabolică în timpul căreia glucoza este degradată şi se sintetizează o substanţă bogată în energie ATP (adenozina trifosfatică), care constituie o sursă de energie esenţială comună tuturor celulelor vii. Pentru fiecare moleculă de glucoză degradată două molecule de ADP (adenozină difosfatică) se transformă în două molecule de ATP. Studiul glicolizei este un bun exemplu demonstrînd cît de complementar poate fi modul de abordare analitică a biologiei şi cercetarea stabilităţii în condiţiile stării departe-de-echilibru [135].

Investigaţiile biochimice au arătat existenţa oscilaţiilor temporale în concentraţiile legate de ciclul glicolitic [136]. Aceste oscilaţii au fost determinate de o etapă cheie în succesiunea reacţiei, o

---

[135] Goldbeter A. şi Nicolis G., „An Allosteric Model with Positive Feedback Applied to Glycolytic Oscillations", în *Progress in Theoretical Biology*, vol. 4, 1976, p. 65—160 şi Goldbeter A. şi Caplan S. R., *„Oscillatory Enzymes"*, în *„Annual Review of Biophysics and Bioengineering"*, vol. 5, 1976, p. 449—473.

[136] Hess B., Boiteux A. şi Krüger J., „Cooperation of Glycolytic Enzymes"; în *Advances in Enzyme Regulation*, vol. 7, 1969, p. 149—167; vezi şi Hess B., Goldbeter A., Lefever R., „Temporal, Spatial and Functional Order in Regulated Biochemical Cellular Systems, în *Advances in Chemical Physics*, XXXVIII, p. 363—413, 1978.

etapă activată de ADP și inhibată de ATP. Acesta este un fenomen nelinear tipic, perfect adaptat funcționării metabolice eficace. Într-adevăr, de fiecare dată cînd celula recurge la rezervele sale de energie, ea exploatează legăturile de fosfat și ATP-ul se transformă în ADP. Acumularea de ADP din celulă semnifică astfel un consum intens de energie și nevoia de reconstituire a stocurilor. Acumularea de ATP, pe de altă parte, înseamnă că glucoza se poate degrada într-un ritm mai scăzut.

Cercetările teoretice ale acestui proces au arătat că acest mecanism este într-adevăr susceptibil de a produce un fenomen de oscilație, un ceas chimic. Valorile calculate teoretic atît ale concentrațiilor chimice necesare producerii oscilațiilor cît și ale perioadei ciclului sînt în concordanță cu datele experimentale. Oscilația glicolitică produce o modulație a tuturor proceselor de energie din celulă, care sînt dependente de concentrația ATP-ului, și, prin urmare, indirect, de numeroase alte lanțuri metabolice.

Putem continua și arăta că, pe calea glicolitică, reacțiile controlate de unele din enzimele cheie sînt, într-adevăr, în condiții de stare departe-de-echilibru. Astfel de calcule au fost prezentate de Beno Hess [137] și de atunci s-au extins și la alte sisteme. În condiții obișnuite, ciclul glicolitic corespunde unui ceas chimic, dar modificarea acestor condiții poate produce formațiuni de un tip special în deplină concordanță cu predicțiile modelelor teoretice existente.

Se pare că un sistem viu este foarte complex din punct de vedere termodinamic. Anumite reacții sînt aproape de echilibru și altele nu. Nu totul este „viu" într-un sistem viu. Fluxul de energie care îl străbate seamănă, întrucîtva, cursului unui rîu care curge lin, dar din cînd în cînd în cascadă eliberînd o parte din energia pe care o conține.

---

[137] Hess B., Ciba Foundation Symposium, vol. 31, 1975, p. 369.

Să ne îndreptăm atenția spre alte procese biologice care s-au studiat din punct de vedere al stabilității, și să relevăm îndeosebi agregarea amibelor acrasiale (Dictyostelium discoideum).

Agregarea amibelor acrasiale celulare furnizează un exemplu remarcabil de fenomen de autoorganizare într-un sistem biologic în care un rol esențial îl joacă ceasul chimic.

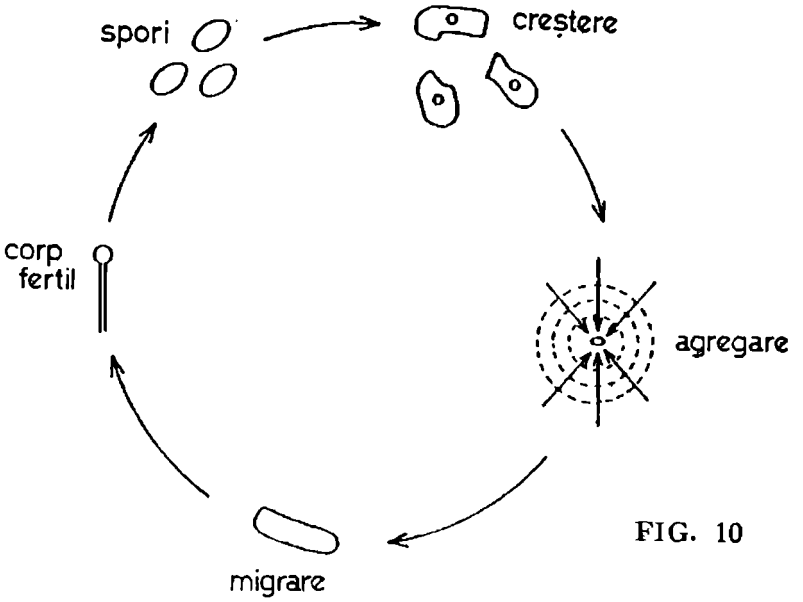

FIG. 10

Cînd ies din spori, amibele cresc și se multiplică ca organisme unicelulare. Această situație se extinde pînă cînd hrana, furnizată în principal de bacterii, devine rară. Atunci amibele încetează să se reproducă și intră într-o fază intermediară care durează aproximativ opt ore. La sfîrșitul acestei perioade amibele încep să se aglomereze în jurul celulelor care se comportă ca centre de agregare. Agregarea apare ca răspuns la semnalele chemotactice emise de centre și, formată astfel, ea migrează pînă cînd se satisfac condițiile pentru un corp fertil. Apoi masa de celule se diferențiază pentru a forma o tulpină acoperită de o masă de spori.

În *Dictyostelium discoideum*, agregarea se efectuează în mod periodic. Filmele cu procesul de agregare dovedesc existența de valuri concentrice de amibe care se mișcă spre centru cu o periodi-

citate de cîteva minute. Natura factorului chemotactic este cunoscută: este AMP-ul ciclic (cAMP), o substanță implicată în numeroase procese biochimice cum sînt reglările hormonale. Centrele de agregare emit semnalele de cAMP în mod periodic. Celelalte celule răspund prin mișcarea către centru și prin transmiterea de semnale la periferia teritoriului de agregare. Existența unui mecanism de transmitere a semnalelor chemotactice permite fiecărui centru controlarea agregării a 10^5 amibe.

Analiza unui model al procesului de agregare demonstrează existența a două tipuri de bifurcații. Mai întîi agregarea reprezintă ea însăși o rupere a simetriei spațiului. Cea de-a doua bifurcație rupe simetria temporală.

Inițial amibele sînt distribuite omogen. Cînd unele dintre ele încep să emită semnale chemotactice, în concentrația cAMP apar fluctuații locale. Pentru o valoare critică a unui parametru al sistemului (coeficientul de difuziune al cAMP, mobilitatea amibelor etc.) fluctuațiile se amplifică: distribuția omogenă devine instabilă și amibele se îndreaptă spre o distribuție neomogenă în spațiu. Această distribuție nouă corespunde acumulării de amibe în jurul centrelor de agregare.

Pentru a înțelege originea periodicității în agregarea lui Dictyostelium discoideum, este necesar să se studieze mecanismul de sinteză al semnalului chemotactic. Pe baza observațiilor experimentale se poate descrie acest mecanism prin schema din figura 11.

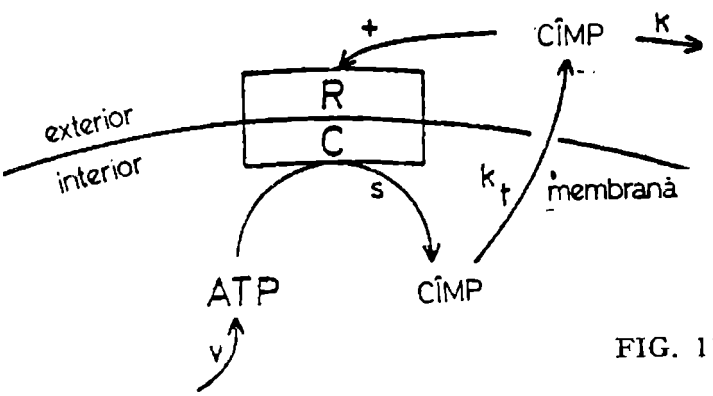

FIG. 11.

La suprafața celulei, receptorii (R) leagă moleculele de cAMP. Receptorul înfruntă mediul extracelular și este în mod funcțional legat de o enzimă, adenil ciclază (*c*), care transformă ATP-ul intracelular în cAMP. cAMP-ul astfel sintetizat este transformat de-a lungul membranei în mediul extracelular unde este descompus de fosfodiesterază, o enzimă secretată de amibe. Experimentele dovedesc că legînd cAMP-ul extracelular de membrană, receptorul activează adenil ciclaza (reacție pozitivă indicată prin +). Pe baza acestei reglări autocatalitice analiza unui model pentru sinteze cAMP a permis unificarea diferitelor tipuri de comportament observate în timpul agregării.

Concentrațiile de adenil ciclază (*s*) și cele de fosfodiesterază (*k*) sînt doi parametri cheie ai modelului. Figura 12 (redesenată de Goldbeter A. și Segel L. în *Differentiation*, vol. 17, p. 127-135, 1980) ne arată comportamentul sistemului modelat în spațiul format de s și k.

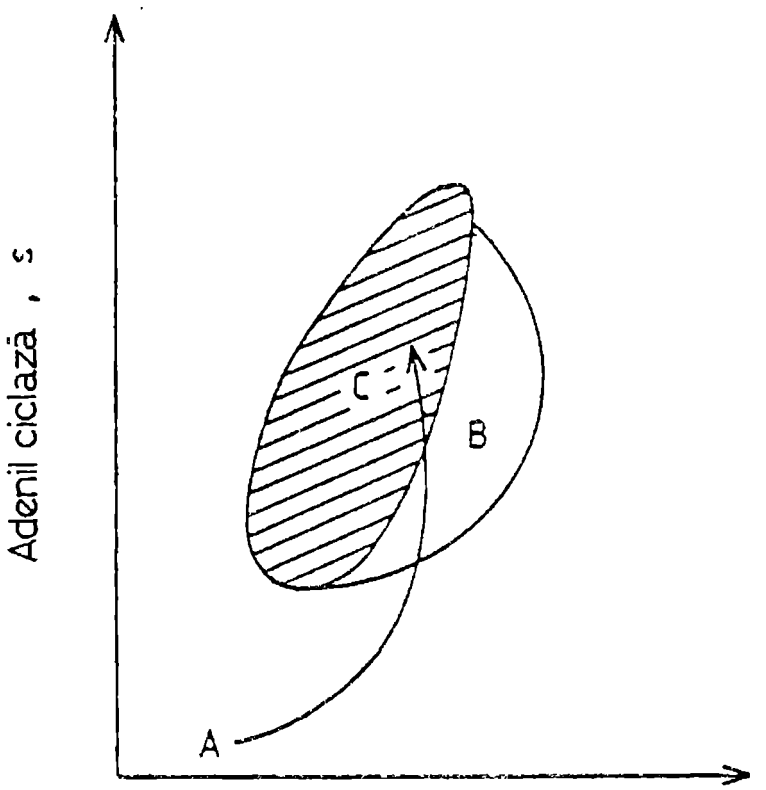

FIG. 12

Se pot distinge trei regiuni pentru valorile diferite ale lui *k* și *s*. Regiunea A corespunde unei stări staționare stabile, neexcitabile; regiunea B corespunde unei stări staționare stabile dar excitabile: sistemul este capabil de a amplifica perturbații mici în concentrația cAMP în mod pulsator (și astfel retransmite semnale cAMP); regiunea C corespunde unei regiuni de oscilații susținute în jurul unei stări staționare nestabile.

Săgeata indică o „cale de dezvoltare" posibilă corespunzînd unei creșteri de fosfodiesterază *(k)* și de adenil ciclază *(s)*, creștere care se observă că apare după începutul perioadei de foamete. Traversarea regiunilor *A*, *B* și *C* corespunde schimbării de comportament: celulele sînt la început incapabile de a răspunde semnalelor cAMP extracelulare; ulterior ele transmit aceste semnale și în final devin capabile să le sintetizeze periodic într-un mod autonom. Centrele de agregare ar fi, prin urmare, celulele pentru care parametrii *s* și *k* au atins mai repede un punct plasat în interiorul regiunii *C* după începerea perioadei de foame. Acest proces [138] este un caz interesant la granița dintre biologia unicelulară și cea pluricelulară. Cînd mediul în care trăiesc și se înmulțesc aceste amibe devine sărac în materii nutritive, ele suferă o transformare spectaculoasă. Dintr-o populație de celule izolate ele se unesc pentru a forma o masă compusă din cîteva zeci de mii de celule. Acest „pseudoplasodium" suferă apoi diferențieri, schimbîndu-și forma în întregime. Se formează o tijă constînd din aproximativ o treime din celule și conținînd multă celuloză. Această tijă susține o masă rotundă, din care se va răspîndi ulterior o nouă populație de spori, gata să formeze o colonie de amibe, dacă intră în contact cu un mediu nutritiv potrivit. Acesta este un exemplu extrem de spectaculos de adaptare la mediu. Populația trăiește într-o regiune pînă epui-

[138] Goldbeter A. și Segel L. A., „Unified Mechanism for Relay and Oscillation of Cyclic AMP in Dictyostelium Discoideum" în *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A.*, vol. 74, 1977, p. 1543–1547.

zează resursele disponibile, apoi se metamorfozează și capătă o mobilitate care-i permite să invadeze alte medii.

Studiul primei etape a procesului de agregare arată că aceasta începe prin asaltul de unde de deplasare la populația amibeană, printr-o mișcare pulsatorie de convergență a amibelor către un „centru de atracție", care pare să se ivească spontan. Studiul experimental și modelarea au arătat că această migrație este un răspuns al celulelor la existența în mediu a unui gradient de concentrație într-o substanță cheie, AMP-ul ciclic, care este periodic produs de centrul de atracție și apoi de alte celule, printr-un mecanism de schimb. Vedem aici acțiunea remarcabilă a ceasurilor chimice asupra undelor chimice. Ele furnizează, așa cum am subliniat deja, noi mijloace de *comunicare.* În cazul de față, mecanismul de autoorganizare are ca rezultat comunicarea între celule.

Există un alt aspect pe care vrem să-l subliniem. Agregarea amibelor acrasiale este un exemplu tipic a ceea ce am denumit „ordine prin fluctuații"; apariția centrului de atracție care difuzează AMP-ul este elocventă prin faptul că regimul metabolic ce corespunde unui mediu nutritiv normal devine instabil, adică mediul nutritiv s-a epuizat. Faptul că, în astfel de condiții de foamete, orice amibă poate fi prima care emite AMP-ul ciclic și devine astfel un centru de atracție, corespunde comportamentului întîmplător al fluctuațiilor. Această fluctuație se amplifică ulterior și organizează mediul.

6. Bifurcațiile și ruperea simetriei

Să studiem mai atent apariția autoorganizării și procesele care au loc cînd trecem peste acest prag. La echilibru sau aproape-de-echilibru, avem o singură stare staționară care va depinde de valorile unor parametrii de control. Vom numi parametrul de control λ, care, poate fi, spre

exemplu, concentrația B în Brusselatorul pe care l-am descris în secțiunea a 4-a. Urmărim acum schimbarea stării sistemului prin creșterea valorii lui B. În acest fel împingem sistemul din ce în ce mai departe de echilibru. La un moment dat ajungem la pragul stabilității „ramurii termodinamice". Ajungem apoi la ceea ce se cheamă în genere un „punct de bifurcație". Acestea sînt punctele al căror rol l-a accentuat deja Maxwell cînd medita asupra relației dintre determinism pe de o parte și conceptele de alegere și decizie pe de altă parte (vezi capitolul II, secțiunea a 3-a).

Să examinăm diagramele de bifurcație tipice. La punctul de bifurcație B, ramura termodina-

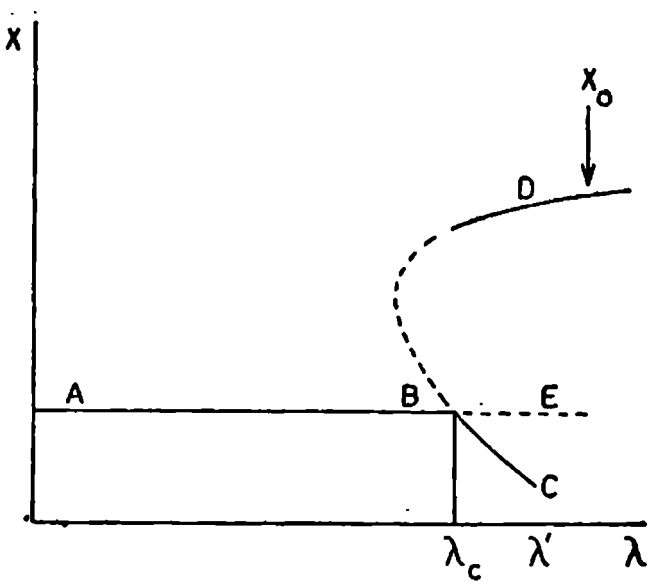

FIG. 13. Diagrama bifurcației. Singurul mod de a ajunge la stările D pentru o valoare dată a lui λ este de a porni cu X_0 mai mare decît valoarea lui X care corespunde ramurii E.

mică devine instabilă și în ceea ce privește fluctuațiile. Pentru valoarea λ_c a parametrului de control λ, sistemul poate avea trei stări staționare diferite: C, E, D. Două din aceste stări sînt stabile, una instabilă. Este foarte important să subliniem faptul că comportamentul unor astfel de sisteme depinde de istoria lor. Să presupunem că mărim lent valoarea parametrului de control

λ ; putem să urmărim calea A, B, C în figura 13. Dimpotrivă, dacă pornim cu o valoare mare a concentrației X, și menținem valoarea parametrului de control constantă, putem ajunge la punctul D. Starea pe care o atingem depinde de istoria anterioară a sistemului. Pînă acum istoria s-a folosit de obicei în interpretarea fenomenelor biologice și sociale. Faptul că aceasta joacă un rol atît de important în procesele chimice simple este chiar neașteptat.

Să considerăm acum diagrama bifurcației reprezentată în figura 14.

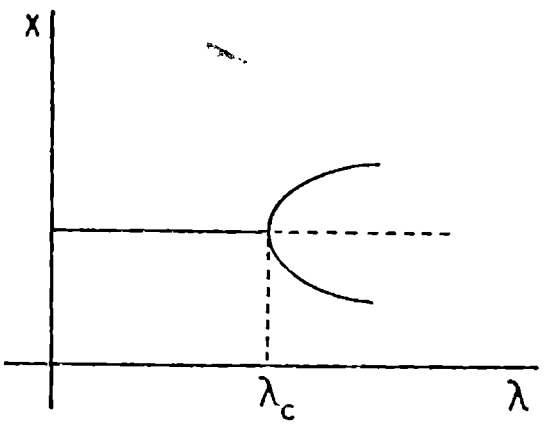

FIG. 14. Diagrama bifurcației simetrice.

Diferența față de diagrama precedentă constă în faptul că în punctul de bifurcație apar *două* soluții simetrice noi și aceasta duce apoi la o nouă întrebare: încotro merge sistemul cînd atingem punctul de bifurcație? Avem aici o „alegere" între două posibilități. Acestea pot reprezenta două distribuții neuniforme de X-uri chimice în spațiu, ca în figurile 15 și 16.

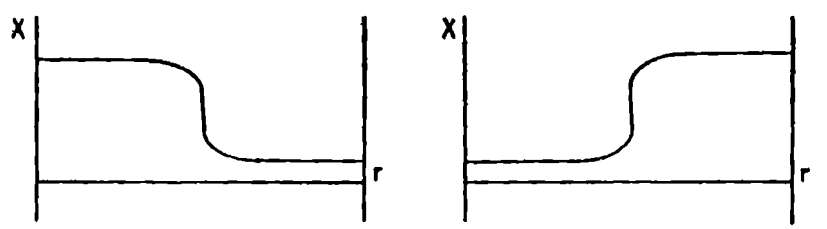

FIG. 15 și 16. Două distribuții spațiale posibile ale lui x, corespunzătoare fiecăreia din cele două ramuri din fig. 14.

Cele două structuri sînt imagini în oglindă, una față de cealaltă. În figura 15 concentrația lui X este mai mare în stînga; în figura 16 este mai mare în dreapta. Cum va alege sistemul între stînga și dreapta? Este un element aleator ireductibil; ecuația macroscopică nu ne va putea prezice calea care o va lua sistemul. Dacă ne vom îndrepta spre o descriere microscopică nu ne va fi de mare folos. Nu va apare, de asemenea, nici acolo o distincție între stînga și dreapta. Ne aflăm în fața unor evenimente întîmplătoare asemănătoare cu cazul aruncării unui zar. Ne-am aștepta ca în cazul în care vom repeta de mai multe ori experimental și vom conduce sistemul dincolo de punctul de bifurcație, jumătate din sisteme se vor îndrepta spre configurația stîngă și jumătate spre cea dreaptă. Aici apare o problemă interesantă; în lumea înconjurătoare unele simetrii simple, de bază, par a fi rupte [139]. Toată lumea a observat că scoicile au adesea o spiralizare preferențială. Pasteur a mers atît de departe încît a întrezărit în disimetrie, în ruperea simetriei, chiar trăsătura caracteristică a vieții. Știm astăzi că ADN-ul, acidul nucleic cel mai bazic, corespunde unei spirale helicoidale stîngi. Cum poate apărea această disimetrie? O disimetrie poate apărea în urma unui eveniment unic care a favorizat din întîmplare unul din cele două efecte posibile. Se instalează atunci un proces autocatalitic și bifurcația stîngă duce la reproducția celorlalte structuri stîngi. Alții și-au imaginat că a existat un „război" între structurile stînga și dreapta, și una dintre ele a anihilat-o pe cealaltă. Am ajuns acum la problema la care n-am găsit încă un răspuns satisfăcător. Existența evenimentelor unice nu este tocmai satisfăcătoare. Am dori un efect mai „sistematic".

Recent am identificat un efect de acest tip care constituie un exemplu izbitor al proprietăților noi, de bază, pe care le capătă materia în condiții

[139] Vezi Gardner M., *The Ambidextrous Univers*, Charles Scribner's Sons, New York, 1979.

departe-de-echilibru: cîmpuri externe, cum e cîmpul gravitațional pot fi „percepute" de sisteme și pot crea posibilitatea unei forme de selecție de modele.

Ne întrebăm cum ar schimba un cîmp extern, adică un cîmp gravitațional, o situație de echilibru. Răspunsul ni-l furnizează principiul de ordine al lui Boltzmann: cantitatea de bază implicată este coeficientul energiei potențiale termice. Aceasta este o cantitate mică pentru cîmpul gravitațional pe pămînt, și pentru a avea o schimbare apreciabilă a presiunii sau a compoziției atmosferei trebuie să urcăm un munte. Să luăm spre exemplu celula lui Benard; am văzut că interpretarea mecanică a instabilității constă în ridicarea centrului de gravitație ca rezultat al dilatației termice. Cu alte cuvinte: aici gravitația joacă un rol esențial și ne conduce spre o structură nouă în ciuda faptului că celula lui Benard poate avea o grosime de doar cîțiva milimetri. Efectul gravitației asupra unui strat atît de subțire ar fi neglijabil la echilibru, dar datorită stării de ne-echilibru produsă de diferența de temperatură, efectele macroscopice datorate gravitației devin vizibile chiar și în acest strat subțire. Starea de ne-echilibru amplifică efectul gravitației [140].

Gravitația va modifica în mod evident fluxul de difuziune într-o ecuație de reacție-difuziune. Calcule detaliate demonstrează că acest efect poate fi destul de dramatic lîngă un punct de bifurcație a sistemului neperturbat. În final putem trage următoarea concluzie: cîmpurile gravitaționale foarte mici pot conduce deja la selecția de modele.

Să ne oprim din nou la o diagramă a bifurcației cum este cea reprezentată în figura 14. Presupunem că pentru $g = 0$ cînd nu există gravitație, avem, ca în figurile 15 și 16, un model „sus/jos"

---

[140] Nicolis G. și Prigogine I., „Symmetry Breaking and Pattern Selection in Far from Equilibrium Systems", în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA, vol. 78, p. 659–663, 1981.

asimetric precum și imaginea sa în oglindă „jos/sus". Amîndouă sînt la fel de probabile, dar cînd g este luat în considerare, ecuațiile bifurcației se modifică, deoarece fluxul de difuziune conține un termen proporțional cu g. Ca urmare, se obține acum o diagramă a bifurcației nouă, reprezentată în figura 17. Bifurcația originală a dispărut — acest lucru este real, indiferent de valoarea cîmpului. O structură, să spunem (a), apare acum *continuu* pe măsură ce crește parametrul bifurcației, în timp ce cealaltă structură (b) se poate obține doar printr-o perturbație finită.

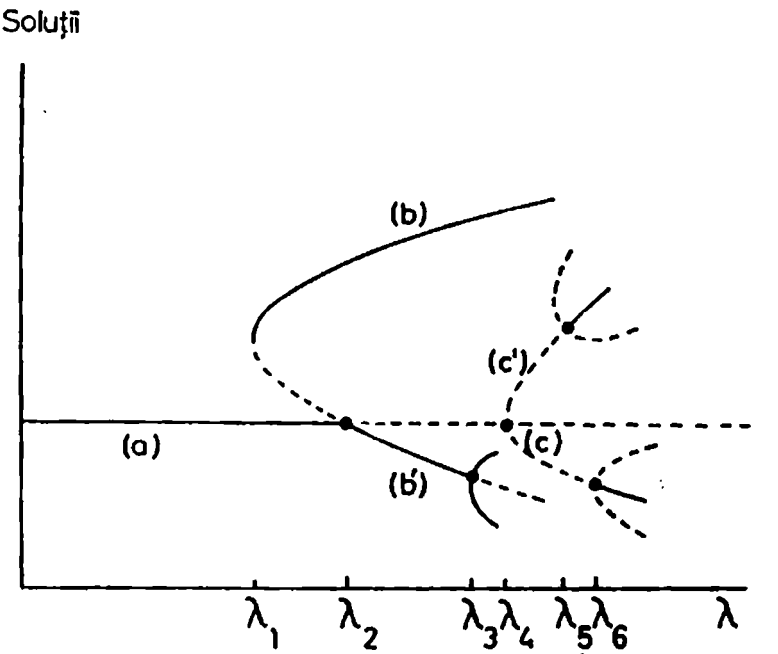

FIG. 17. Diagrama bifurcației. Parametrul bifurcației este λ. Pentru $\lambda < \lambda_1$ există doar o singură stare staționară pentru fiecare valoare a lui λ; acest set de stări formează ramura a. Pentru $\lambda = \lambda_1$ devin posibile alte două seturi (ramurile b și b'). Stările lui b' sînt instabile dar devin stabile cînd $\lambda = \lambda_2$ în timp ce stările ramurii a devin instabile. Pentru $\lambda = \lambda_3$ ramura b' este din nou instabilă și apar alte două ramuri stabile. Pentru $\lambda = \lambda_4$ ramura instabilă a atinge un nou punct de bifurcație unde devin posibile alte două noi ramuri, care vor fi instabile pînă la $\lambda = \lambda_5$ și respectiv $\lambda = \lambda_6$.

Prin urmare, dacă urmărim pista (a) ne așteptăm să *selectăm preferențial* structura continuă. Acest lucru este corect atîta timp cît distanța s dintre cele două ramuri rămîne mare în ceea ce privește

fluctuațiile termice ale concentrației lui X. Avem atunci ceea ce ne-ar place să numim o bifurcație „ajutată". Ca și înainte, în jurul valorii λ_c poate continua un proces de autoorganizare. Dar acum se preferă unul din cele două modele posibile și acesta va fi selectat.

Problema esențială este tocmai faptul că, depinzînd de procesul chimic răspunzător pentru bifurcație, acest mecanism exprimă o sensibilitate extraordinară. Materia, așa cum am arătat în introducerea la acest capitol, percepe diferențele care vor fi nesemnificative la echilibru. Astfel de posibilități ne vor îndrepta atenția spre cele mai simple organisme, cum sînt bacteriile, care știm că pot reacționa la cîmpuri electrice sau magnetice. Și mai general ele dovedesc că chimia departe-de-echilibru duce la „adaptarea" posibilă a proceselor chimice la condițiile exterioare. Acest lucru contrastează puternic cu situațiile echilibrului unde perturbațiile sau modificările mari ale condițiilor la limită sînt necesare pentru a determina o deplasare de la o structură la alta.

Sensibilitatea stărilor departe de echilibru la fluctuațiile fluxurilor externe care susțin activitatea lor este o altă dovadă a acestei „organizări adaptive" spontane a sistemului la mediul său. Să dăm un exemplu [141] de autoorganizare ca

---

[141] Lefever R. și Horsthemke W., „Multiple Transitions Induced by Light Intensity Fluctuations in Illuminated Chemical Systems", în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA, vol. 76, 1979, p. 2490—2494.

Vezi și Horsthemke W. și Malek Mansour M., „Influence of External Noise on Non-equilibrium Phase Transitions", în *Zeitschrift für Physik B.*, vol. 24, p. 307—313, 1976; Arnold L., Hortshemke W. și Lefever R., „White and Coloured External Noise and Transition Phenomena in Non-linear Systems", în *Zeitschrift für Physik B.*, vol. 29, 1978, p. 367—373; Horsthemke W., „Non-Equilibrium Transitions induced by External White and Coloured Noise", în *Dynamics of Synergetic Systems*, Haken H. ed., Springer Verlag, Berlin, 1980; pentru o aplicație la problema biologică, Lefever R. și Horsthemke W., „Bystability in Fluctuating Environments. Implication in Tumor Immunology", în *Bulletin of Mathematic Biology*, vol. 41, 1979.

funcţie a condiţiilor externe de fluctuaţie. Cea mai simplă reacţie chimică concepută este reacţia de izomerizare unde $A \leftrightarrows B$. În modelul pe care-l prezentăm produsul A poate intra de asemenea într-o altă reacţie. A + lumină $\rightarrow A^* \rightarrow$ A + căldură. A absoarbe lumina şi o restituie sub formă de căldură în timp ce părăseşte starea sa excitată A^*. Considerăm că aceste două procese au loc într-un sistem închis: doar lumina şi căldura pot fi schimbate cu exteriorul. Există o nelinearitate în sistem pentru că în timpul transformării de la B la A se absoarbe căldură: cu cît temperatura este mai ridicată, cu atît mai repede se formează A. Dar, de asemenea, cu cît este mai mare concentraţia lui A cu atît mai mare este absorbţia de lumină de către A şi transformarea ei în căldură, şi cu atît mai ridicată este temperatura. A catalizează propria sa formare.

Ne aşteptăm să aflăm că, concentraţia lui A care corespunde stării staţionare creşte odată cu intensitatea luminii. Aşa şi este. Dar, plecînd dintr-un punct critic, apare unul dintre fenomenele departe de echilibru normale: coexistenţa stărilor staţionare multiple. Pentru aceleaşi valori ale intensităţii luminii şi temperaturii, sistemul se poate găsi în două stări staţionare stabile diferite cu concentraţii ale lui A diferite. O a treia stare, instabilă, marchează pragul dintre primele două. O coexistenţă de acest fel de stări staţionare dă naştere binecunoscutului fenomen de histerezis.

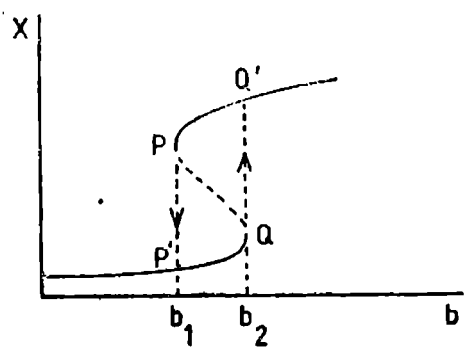

FIG. 18 A.

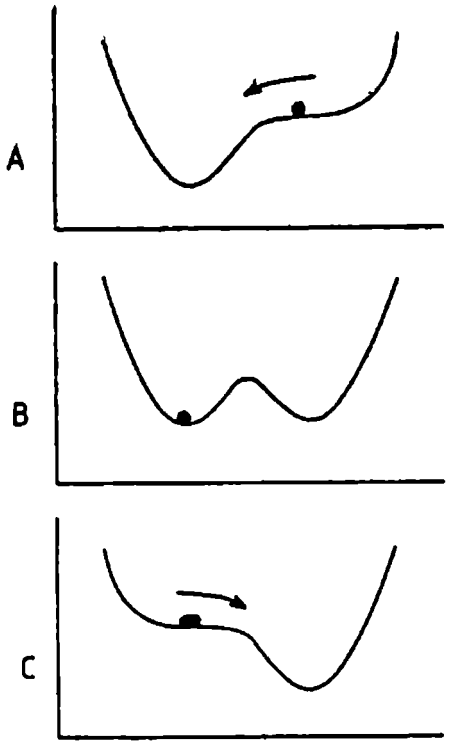

FIG. 18 B. Figura A ne arată cum apare un fenomen de „histereză" dacă valoarea parametrului de bifurcație b este succesiv în creștere sau în scădere. Dacă sistemul se află inițial într-o stare staționară care aparține ramurii mai scăzute, el va rămîne acolo pînă cînd crește b, răspunzînd în acest fel în mod continuu unui schimb continuu de b. Dar cînd $b = b_2$ răspunsul va fi discontinuu: ramura mai joasă nu mai există și sistemul sare de la Q la Q' pe ramura mai înaltă. În mod invers, pornind de la o stare pe ramura mai înaltă sistemul va varia continuu în timp ce b scade continuu, pînă cînd $b=b_1$, unde va sări la P' (cazul A în fig. B). Astfel pentru o valoare a lui b între b_1 și b_2, starea sistemului nu este complet determinată de valoarea parametrilor lui (cazul B în fig. B): nu putem decide apriori pe ce ramură o vom găsi, și se va afla într-o stare diferită dacă b este în creștere sau dacă b scade. Comportamentul membranelor excitate și al altor sisteme biologice se caracterizează printr-o astfel de histerezie.

Acum, dacă intensitatea luminii, în loc să fie constantă, este fluctuantă la întîmplare, un astfel de zgomot afectează profund situația. Zona coexistenței dintre cele două stări staționare crește, iar pentru anumite valori ale parametrilor devine posibilă coexistența între *trei* stări staționare stabile.

În acest caz, un zgomot în fluxul extern, departe de a fi o neplăcere, dă naștere la noi tipuri de comportamente care ar implica, sub fluxurile deterministice, scheme de reacție mult mai complexe. Este important de reținut faptul că zgomotul întîmplător în fluxuri poate fi considerat ca fiind inevitabil în orice „sistem natural". De exemplu, în cazul sistemelor biologice sau ecologice parametrii care definesc interacțiunea cu mediul nu pot fi în general considerați a fi constanți. Atît celula cît și nișa ecologică își extrag hrana din mediul lor, iar umiditatea, pH-ul, concentrația de sare, lumina și elementele nutritive formează un mediu fluctuant permanent. Sensibilitatea stărilor de nonechilibru, nu numai la fluctuațiile cauzate de activitatea lor internă, dar acelea ce provin din mediu lor, deschide noi perspective investigației biologice. Sînt unele manifestări macroscopice ale ordinii biologice rezultatul acestei sensibilități? Ar trebui oare să introducem o distincție între sistemele biologice care simt și răspund doar la proprietățile obișnuite ale lumii exterioare și acelea în care comportamentul este „forțat" de fluctuațiile de mediu?

7. Bifurcații în cascadă și trecerea la haos

În paragraful precedent am studiat numai prima bifurcație sau cum spun matematicienii, bifurcația primară, care apare cînd împingem sistemul dincolo de pragul stabilității. Această bifurcație primară este departe de a epuiza tipul de soluții noi care pot apare. De fapt, prima bifurcație introduce numai un timp caracteristic unic (perioada ciclului limită) sau o lungime caracteristică unică. Pentru a produce activitatea temporală spațială complexă care se observă în sistemele chimice sau biologice, trebuie să urmărim în continuare diagrama bifurcației.

Ne-am referit deja la fenomenele care apar din interacțiunea complexă a unei multitudini de frecvențe în sistemele hidrodinamice sau chimice:

Să ne îndreptăm atenția acum asupra structurilor lui Benard care apar la o distanță critică de echilibru. La o distanță mare de echilibru termic, fluxul de convecție începe să oscileze în timp; pe măsură ce se mărește distanța față de echilibru, apar din ce în ce mai multe frecvențe de oscilație pînă ce, în final, trecerea la echilibru este completă [142]. Interacțiunea dintre frecvențe crează posibilitatea de fluctuații mari; „regiunea" din diagrama bifurcației definită prin astfel de valori ale parametrilor este adesea numită „haotică". Regiunile periodice și haotice pot chiar alterna atunci cînd mărim distanța față de echilibru. Acest lucru a fost observat ca o funcție a debitului în reacția Belousov-Zhabotinsky.

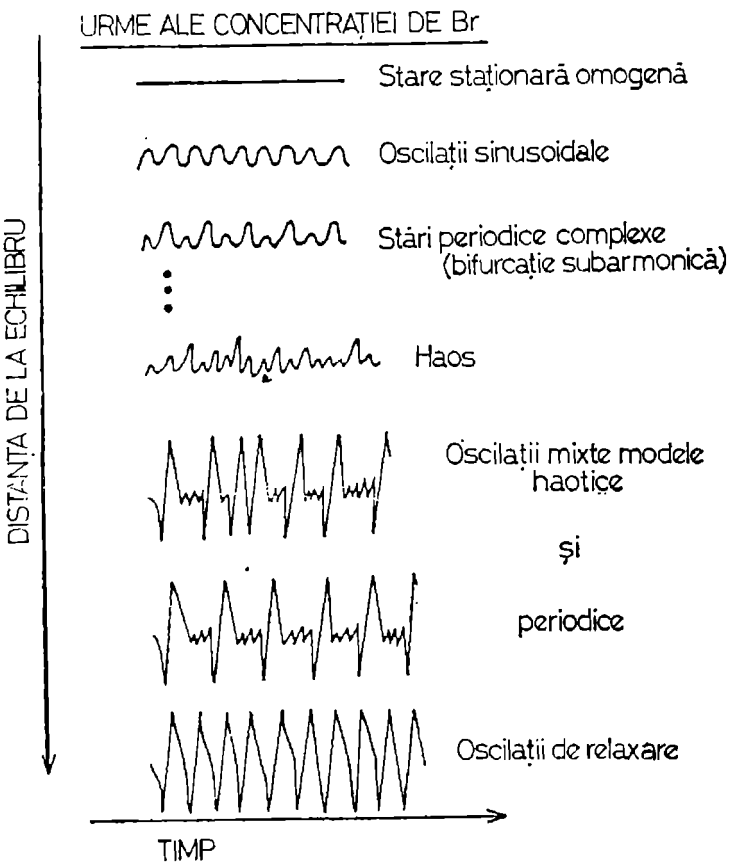

FIG. 19. Succesiune de regiuni corespunzînd comportamentelor diferite calitativ în reacția Zhabotinsky.

[142] Swinney H. L. și Gollub J. P., „The Transition to Turbulence", în *Physics Today*, vol. 31, nr. 8, 1978, p. 41—49.

În multe cazuri nu este ușor să descifrezi înțelesul unor cuvinte ca ordinea sau haosul. O pădure tropicală este oare un sistem ordonat sau unul haotic? Istoria oricărei specii animale ne va apare ca fiind foarte imprevizibilă, dependentă de alte specii și de accidentele de mediu. Totuși avem sentimentul că, planul total al unei păduri tropicale, așa cum este ea reprezentată de exemplu de diversitatea speciilor, corespunde însuși arhetipului de ordine. Indiferent de ce înțeles precis vom putea să dăm acestei terminologii în viitor, este clar că în unele cazuri succesiunea bifurcației formează o evoluție ireversibilă unde determinismul frecvențelor caracteristice produce un haos crescînd ce își are originea în numărul mare al acestor frecvențe.

Un drum remarcabil de simplu, spre „haos" care a atras deja atenția este „Succesiunea Feigenbaum". Aceasta se ocupă de orice sistem al cărui comportament este caracterizat de o trăsătură foarte generală: adică, pentru o serie determinată a valorilor parametrilor comportamentul sistemului este periodic, cu o perioadă T; dincolo de această serie, perioada devine $2T$, și mai departe după un alt prag critic, sistemele au nevoie de 4T pentru a se putea repeta. Sistemul se caracterizează astfel printr-o succesiune de dublare. Aceasta constituie o cale tipică ce duce de la un comportament simplu periodic la unul complex aperiodic care apare atunci cînd perioada s-a dublat la infinit. Această cale, descoperită de Feigenbaum, se caracterizează prin trăsături *numerice universale*, independente de mecanismul implicat atîta timp cît sistemul are proprietatea calitativă a dublării perioadei. „De fapt, majoritatea proprietăților măsurabile ale *oricărui* sistem de acest fel în această limită aperiodică pot fi determinate acum într-un mod care în esență ocolește

detaliile ecuațiilor ce guvernează fiecare sistem în parte pentru că teoria acestui comportament este universală, peste aceste detalii" [143].

În alte cazuri, precum reprezintă figura 20, atît elementele deterministe cît și cele stocastice determină istoria sistemului.

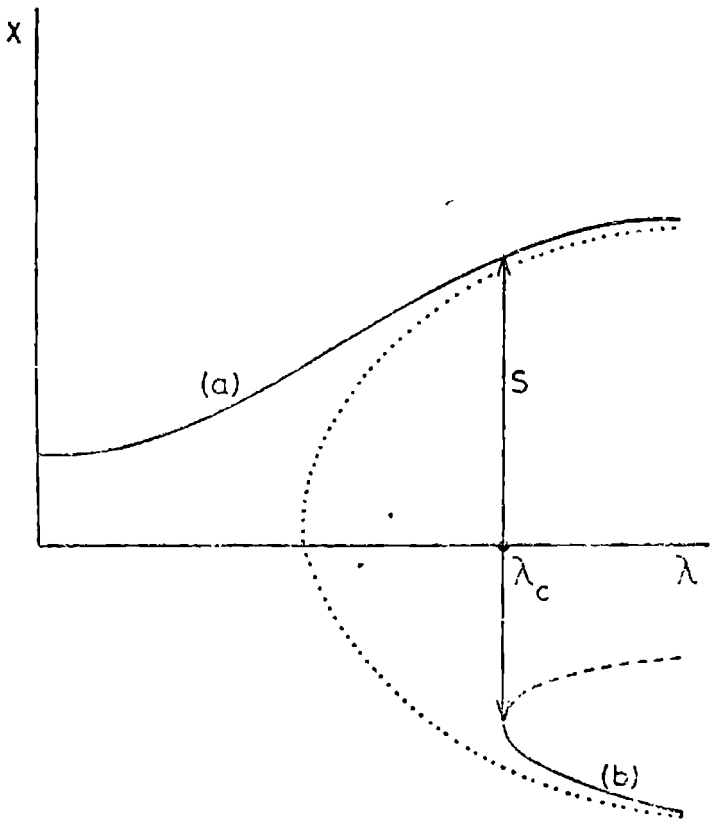

FIG. 20. Fenomen de bifurcație ajutată. Cele două ramuri simetrice distinse de cîmpul extern sînt indicate de linia punctată.

Dacă considerăm figura 20 și o valoare a parametrului de control de ordinul λ_6, vedem că sistemul deține deja o bogăție de comportamente posibile stabile și instabile. Calea „istorică de-a lungul căreia evoluează sistemul pe măsură ce crește parametrul de control se caracterizează printr-o succesiune de r iuni stabile, unde domină legile deterministe, și regiuni instabile, apro-

[143] Feigenbaum M. J., Universal Behaviour in Non Linear Systems", în *Los Alamos Science*, nr. 1, Summer 1980, p. 4 — 27.

piate de punctele bifurcației, unde sistemul poate „alege" dintre mai multe evoluții viitoare. Atît caracterul determinist al ecuațiilor cinetice prin care pot fi calculate ansamblul de stări posibile și stabilitatea lor respectivă, cît și fluctuațiile întîmplătoare „care aleg" între stările din jurul punctelor de bifurcație, sînt legate inseparabil. Acest amestec între necesitate și întîmplare constituie istoria sistemului.

S-ar mai putea menționa faptul că ordinea sau coerența este într-un fel „înghesuită" între haosul echilibrului termic și haosul turbulent de non-echilibru. Totuși, aceste două tipuri de dezordine sînt destul de diferite. În haosul termic, ca în sistemele la echilibru, toate dimensiunile caracteristice spațiului și timpului fac parte dintr-o sferă moleculară, în timp ce în haosul turbulent avem, pe lîngă acestea, o sferă de dimensiuni macroscopice pentru spațiu și timp. Din acest punct de vedere viața, cu coerența ei caracteristică, pare a aparține unui fel de regim intermediar. Distanța față de echilibru trebuie să fie destul de mare dar nu poate fi nici prea mare ca să evite distrugerea modelului delicat, necesar să mențină funcționarea normală a vieții.

8. De la Euclid la Aristotel

Unul din aspectele cele mai interesante ale structurilor disipative este, fără îndoială, coerența lor. Sistemul se comportă atunci ca un întreg, ca și cum ar fi amplasamentul forțelor cu rază mare de acțiune. În ciuda faptului că interacțiunile dintre molecule nu depășesc o sferă de ordinul 10^{-3} cm, sistemul este structurat de parcă fiecare moleculă ar fi „informată" despre întreaga stare a sistemului.

S-a spus de multe ori, și noi am avut deja ocazia să repetăm, că știința modernă s-a născut din abandonarea spațiului aristotelian, inspirat îndeosebi din organizarea și solidaritatea funcțiilor biologice și înlocuirea lui cu spațiul omogen și izotrop

al lui Euclid. Totuși, teoria structurilor disipative ne apropie mai mult de concepția lui Aristotel. Fie că ne ocupăm de un ceas chimic, de undele de concentrație sau de repartiție neomogenă a produselor chimice, instabilitatea are efectul de a rupe simetria, atît cea spațială, cît și cea temporală. Într-un ciclu limită, nu există două momente echivalente; reacția chimică de exemplu, capătă o *fază*, care este asemănătoare cu cea care caracterizează o undă luminoasă. Din nou, cînd apare o direcție privilegiată ca rezultat al instabilității, spațiul încetează să mai fie izotrop. Ne îndreptăm de la spațiul euclidian spre cel aristotelian!

Este tentant să speculăm faptul că ruperea simetriei spațiului și timpului joacă un rol important în fenomenele fascinante ale morfogenezei. Aceste fenomene au dus deseori la convingerea că trebuie implicată o finalitate internă, un proiect realizat de embrion atunci cînd acesta ajunge la maturitate. La începutul acestui secol, embriologul german Hans Driesch credea că responsabilitatea dezvoltării embrionare trebuie atribuită unei „entelehii" materiale. El a descoperit că embrionul era capabil să reziste celor mai severe perturbații și, în ciuda lor, să se dezvolte într-un organism normal și funcțional. Pe de altă parte, cînd urmărim dezvoltarea embriologică într-un film, „vedem" salturi care corespund reorganizărilor radicale urmate de perioade cu o creștere cantitativă mai „liniștită". Există, din păcate, cîteva greșeli. Salturile sînt executate în mod reproductibil. Este tentant să speculezi că mecanismul de bază al evoluției se bazează pe activitatea dintre bifurcații ca mecanism al explorării și selecția interacțiunilor chimice care stabilesc o traiectorie specială printre toate cazurile posibile și asigură reproductibilitatea remarcabilă a dezvoltării. Încă aproximativ cu patruzeci de ani în urmă, biologul Waddington a introdus o astfel de idee. Conceptul de „chreodă" pe care el l-a introdus pentru a descrie căile stabilite ale dezvoltării ar corespunde liniilor posibile de dezvol-

tare produse ca rezultat al imperativului dublu de flexibilitate și siguranță [144]. Complexitatea problemei embriologice este fără îndoială considerabilă și nu poate fi tratată decît pe scurt aici.

Cu mulți ani în urmă, embriologii au introdus conceptul de cîmp morfogenetic și au prezentat ipoteza că diferențierea unei celule depinde de *poziția* ei în acest cîmp. Dar cum își poate „recunoaște" celula poziția? O idee care se dezbate mereu este aceea a unui „gradient", sau a unei substanțe caracteristice, a unuia sau a mai multor factori „morfogeni". Astfel de gradienți se pot produce de fapt datorită ruperii de simetrie în condiții departe-de-echilibru. O dată produs, un gradient chimic poate alimenta fiecare celulă cu un mediu chimic diferit și astfel să inducă fiecăreia capacitatea de a sintetiza o gamă specifică de proteine. Acest model care este foarte studiat acum, pare să fie în concordanță cu multe cazuri cercetate experimental. Ne putem referi, în special, la modelul confirmat experimental al lui Kauffman și compania [145] despre drosofilă. Un sistem de reacție-difuzie este considerat a fi răspunzător de încredințarea embrionului prematur programelor de dezvoltare alternative care par să

---

[144] Conceptul de chreodă face parte din descrierea calitativă a dezvoltării embriologice pe care Waddington l-a propus acum mai bine de 20 de ani. Este, într-adevăr, o soluție care se bifurcă: o explorare progresivă, de-a lungul căreia embrionul crește, a unui „peisaj epigenetic" unde coexistă segmente stabile și segmente unde este posibilă o selecție între diferite căi de dezvoltare. Vezi Waddington C. H., *The Strategy of the Genes*, London, Allen and Unwin, 1957. Chreodele lui Waddington constituie, de asemenea, punctul central de referință în gîndirea biologică a lui René Thom. Ele pot deveni astfel un punct de întîlnire pentru două abordări: aceea, pe care o prezentăm, care pornește de la mecanismele locale și explorează spectrul de comportamente colective pe care ele le generează și aceea a lui Thom care pornește de la unitățile matematice globale și leagă formele și transformările distinct calitative pe care le implică cu descrierea fenomenologică a morfogenezei.

[145] Kauffman S. A. Shymko R. M., Trabert K., Control of Sequential Compartment Formation in Drosophilia", în *Science*, vol. 199, 1978, p. 259—269.

se ivească în diferite grupuri de celule. Fiecare compartiment va fi precizat de o combinație unică de alternative binare, fiecare dintre aceste alternative fiind rezultatul unei bifurcații spațiale de rupere a simetriei. Odată cu fiecare bifurcație succesivă va apare o diferențiere spațială în concentrația unui „morfogen", determinînd această concentrație să fie sub sau deasupra unui nivel de prag, creînd în acest fel un compartiment de demarcație între cele două regiuni. Prin urmare, fiecare compartiment va fi înregistrarea unei anumite secvențe succesive a unor astfel de comutatoare binare. Modelul ne conduce spre o serie de prezîceri asupra rezultatului transplantărilor ca funcție a „distanței" dintre regiunile originale și finale, adică, a numărului diferențelor dintre stările comutatoarelor care le precizează pe fiecare dintre ele.

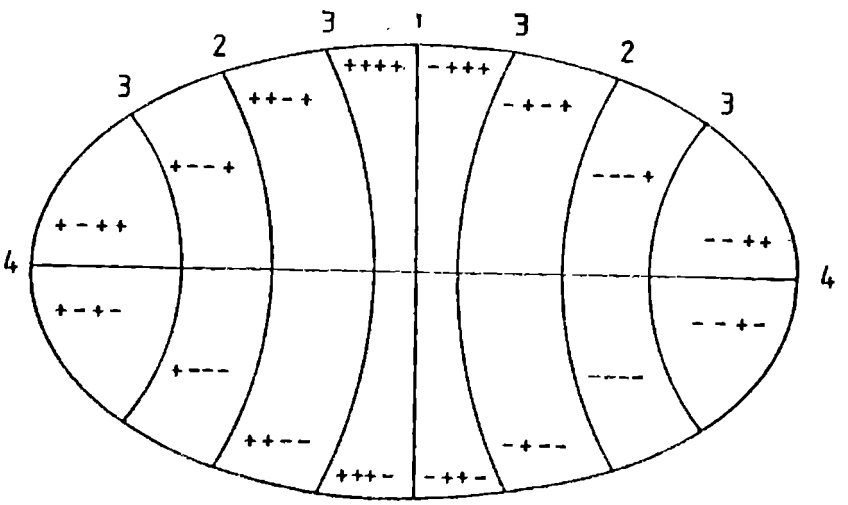

FIG. 21. Schematizarea embrionului drosofilei ca rezultat al selecțiilor binare succesive.

Astfel de idei și modele se bucură de un interes special în sistemele biologice în care oul se formează într-o stare simetrică aparentă (de exemplu, Fucus, Acetabularia). S-ar putea pune întrebarea: este oare oul într-adevăr omogen la început? Chiar dacă sînt prezente mici neomogenități în mediul inițial, efectul lor poate fi acela de a analiza evoluția către o structură dată? Un lucru pare a fi

stabilit: instabilitatea legată de reacțiile chimice și transport pare a fi singurul mecanism capabil să rupă simetria într-un mediu inițial omogen.

Însăși posibilitatea unei astfel de soluții ne îndepărtează de străvechiul conflict dintre reducționiști și antireducționiști. Încă de pe vremea lui Aristotel (și am citat din Stahl, Hegel, Bergson și alți antireducționiști) s-a exprimat aceeași convingere și anume, că este necesar un concept asupra organizării complexe care să lege diferitele nivele de descriere și să ia în considerație relația dintre întreg și comportamentul părților. Răspunzînd reducționiștilor, pentru care singura „cauză" a organizării nu poate fi decît partea, Aristotel cu a sa cauză formală, Hegel cu a sa acțiune a spiritului în natură și Bergson cu al său act simplu, nestăpînit, creator de organizare, toți aceștia afirmă hegemonia întregului.

„În general, cînd același obiect apare pe de o parte ca simplu și pe de altă parte infinit de complex, cele două aspecte sînt fără îndoială departe de a avea aceeași importanță, sau mai degrabă același grad de realitate. În astfel de cazuri, simplitatea aparține însuși obiectului, iar complexitatea infinită aparține punctelor de vedere pe care le avem asupra obiectului, învîrtindu-ne în jurul lui, simbolurilor cu ajutorul cărora simțurile și inteligența noastră ni-l reprezintă, sau, mai general, aparține unor elemente *de ordin diferit*, prin intermediul cărora încercăm să-l imităm artificial, dar față de care acesta rămîne incomensurabil, fiind de natură diferită. Un artist de geniu a pictat o figură pe pînză. Putem imita tabloul cu bucățele multicolore de mozaic. Și vom reproduce curbele și nuanțele modelului cu atît mai bine cu cît pătrățelele noastre sînt mai mici, mai numeroase și în tonalități mai variate. Dar ar fi necesară o infinitate de elemente, infinit de mici avînd o infinitate de nuanțe, pentru a putea obține echivalentul exact al figurii pe care artistul a

conceput-o ca pe un lucru simplu, pe care a dorit să o transfere global pe pînză, și care este cu atît mai desăvîrșită cu cît ne apare ca fiind proiecția unei intuiții indivizibile" [146].

În biologie, conflictul între reducționiști și antireducționiști a apărut adesea ca un conflict între afirmarea unei finalități externe și afirmarea uneia interne. Ideii unei inteligențe organizatoare imanente i se opune astfel deseori un model de organizare împrumutat din tehnologia timpului (dispozitive mecanice, termice, cibernetice) care provoacă imediat replica: „cine" a construit dispozitivul, acest sistem automat care se supune finalității externe?

Așa cum a arătat Bergson la începutul secolului, atît modelul tehnologic cît și ideea vitalistă a unor forțe interne de organizare sînt expresii ale unei incapacități de a concepe organizarea evolutivă fără a o îndrepta către un scop preexistent. Astăzi, în ciuda succesului spectacular al biologiei moleculare, situația conceptuală este aproximativ aceeași: demonstrația lui Bergson poate fi repetată în ceea ce privește metaforele contemporane cum sînt: „organizatorul", „refulatorul", „programul genetic".

Biologii neconformiști ca Paul Weiss și Conrad Waddington [147] au criticat pe drept modul în care acest fel de calificare atribuie moleculelor individuale forța de a produce ordinea globală pe care biologia trebuie s-o înțeleagă, și, procedînd astfel, confundă formularea problemei cu rezolvarea ei.

Pentru a nu spune mai mult, trebuie să recunoaștem că analogia tehnologică nu este lipsită de interes în biologie. Dar relația sa locală nu trebuie luată ca semn a validității ei generale și neproblematice. O validitate generală de acest

---

[146] Bergson H., „Creative Evolution", p. 94—95.

[147] Vezi Waddington C. H., *The Evolution of an Evolutionist*, Edinburgh, University Press, 1975 și Weiss P., „The Living System: Determinism Stratified" în *Beyond Reductionism*, Koestler A. și Smythies J. R., eds., London, Hutchinson, 1969.

fel ar presupune ca, precum într-un circuit electric, de exemplu, să existe o omogenitate de bază între descrierea interacțiunii moleculare și cea a comportamentului global: într-adevăr, se poate deduce funcționarea unui circuit din tipul și poziția releurilor din care se compune; amîndouă se referă de fapt la aceeași scară, deoarece releurile au fost concepute și instalate de același inginer care a construit întregul dispozitiv. Dar nu aceasta poate fi regula în biologie.

Este adevărat că, în unele cazuri fericite, ceea ce știm despre un organism biologic pare să-și găsească în tehnologie cadrul conceptual natural. Cînd ne ocupăm de un sistem biologic cum e chemotactismul bacterial [148], este greu să eviți să vorbești despre o mașină moleculară constînd din receptori, sisteme de prelucrare senzoriale și reglatoare, răspuns motor. Se cunosc aproximativ douăzeci sau treizeci de receptori care pot detecta clase foarte specifice de compuși și determina reacția bacteriei. Acest „comportament" este determinat de randamentul sistemului de prelucrare, adică deschiderea sau închiderea unui întrerupător producînd o schimbare a direcției mișcării bacteriale.

Astfel de cazuri, deși fascinante, nu alcătuiesc totuși întreaga istorie. De fapt, este tentant să le vezi ca un caz limită, ca produsul finit al unui anumit fel de evoluție selectivă, scoțînd în relief stabilitatea și comportamentul de reproducere mai mult decît evidența și adaptabilitatea. Într-o astfel de perspectivă, importanța metaforei tehnologice devine astfel nu o chestiune de principiu, ci o problemă de prilej favorabil; nu un fapt evident și general, ci un rezultat specific selecției naturale într-o situație particulară.

Problema generală a ordinii biologice implică o problemă ascunsă metaforei tehnologice: aceea a trecerii de la activitatea moleculară la ordinea

---

[148] Koshland D.E., "A Model Regulatory System: Bacterial chemotaxis", în *Physiological Review*, vol. 59, nr. 4, p. 811–862.

supermoleculară a celulei. Trebuie să recunoaștem că nu avem o teorie satisfăcătoare a organizării. De fapt, nevoia unei astfel de teorii a fost ascunsă de asocierea frumoasă a conceptelor fizice și cele tehnologice, care se unifică extraordinar prin asimilarea enzimelor cu demonii lui Maxwell.

Această asimilare presupune reducerea ordinii biologice pur și simplu la o stare fizică improbabilă creată și menținută de enzime la fel cum demonii lui Maxwell creează și mențin temperatura improbabilă sau diferențele de presiune din interiorul sistemului.

Biologia se află, prin urmare, tocmai în poziția analizată de Stahl. Legile naturii permit numai moartea. Acțiunea de organizare a unui suflet a lui Stahl este înlocuită de informația genetică conținută în acizii nucleici și exprimată în formarea enzimelor care permit perturbarea vieții. Enzimele întîrzie moartea și dispariția vieții. Ele traduc în miracolul statistic al apariției organizării macroscopice pe care o creează seria de mutații miraculoase statistic al căror rezultat sînt. Întîmplarea — apariția neașteptată a codului genetic și a seriei de mutații favorabile — se opune astfel legității naturii.

În contextul fizicii procesului ireversibil, rezultatele biologiei au în mod evident o semnificație și o implicație destul de diferită. Cum am văzut, legile universale care descriu apropierea de echilibru există într-adevăr. Totuși, aceste legi nu furnizează contextul firesc în funcție de care se poate discuta viața. Știm azi că atît biosfera, ca întreg, precum și componentele ei, vii sau nu, se găsesc în condiții departe-de-echilibru. În acest context diferit, viața, departe de a fi în afara ordinii naturale, apare ca expresia supremă a proceselor de autoorganizare care poate apărea în aceste condiții.

Alegerea între o lume animistă așteptînd sosirea omului încă de la început, și o lume alienată, unde întîmplarea trebuie să smulgă ființa vie dintr-o ordine generală care este cea a morții și a întoarcerii la inanimat, nu este necesară. Sîntem tentați să ajungem pînă acolo încît să afirmăm că odată satisfăcute condițiile pentru autoorganizare, viața devine la fel de previzibilă ca și instabilitatea lui Benard sau ca o piatră în cădere. Este remarcabil faptul că descoperirile recente s-au îndreptat spre formele fosile de viață care apar aproape simultan cu primele formații de roci (cele mai vechi microfosile cunoscute azi datează încă de acum $3.8.10^9$ ani în timp ce vîrsta pămîntului se presupune că este de $4.6.10^9$ ani, formarea primelor roci datează de acum $3.8.10^9$ ani). Apariția timpurie a vieții vine ca argument în sprijinul ideii că viața este rezultatul autoorganizării spontane ce apare ori de cîte ori condițiile o permit. Totuși, sîntem încă departe de orice teorie cantitativă.

Întorcîndu-ne la cadrul conceptual al înțelegerii vieții și evoluției, este important să nu uităm ignoranța noastră de azi, să n-o mascăm cu un astfel de motto general cum e dualitatea mutație-selecție. De fapt nu știm prea multe despre relația dintre o ființă vie și „textul" genetic pe care-l modifică mutațiile. În această problemă știm cel puțin metafora tehnologică a „programului" ce urmează să ne inducă în eroare. Este, într-adevăr, concluzia pe care o tragem din astfel de rezultate ca cele produse de studiul secvențelor macromoleculelor la diferite specii. S-a arătat, de pildă [149], că

[149] King M.-C. și Wilson A. C., "Evolution at two Levels in Humans and Chimpanzees", în *Science*, vol. 188, 175, p. 107—116.

„distanța genetică" dintre oameni și cimpanzei, măsurată de numărul de diferențe dintre succesiunile de proteine corespunzătoare, este foarte mică, prea mică, se pare, pentru a putea explica diferențele organistice dintre cele două specii. Nu există nici o legătură între numărul de mutații și transformările organismelor și nici o posibilitate de a le elucida pe acestea din urmă sub forma unei „translații" de informație genetică.

Putem accepta, în special, caracterul arbitrar al transformării, lipsa relației inteligibile dintre acest eveniment și problema de mediu pe care o are de înfruntat în final organismul, fără a trebui să accepte același grad al caracterului arbitrar ca și pentru organismul transformat și, prin urmare, fără a trebui să ia presiunea selectivă ca singurul factor inteligibil în evoluție. Într-adevăr, legarea oricărei trăsături adaptative de presiunea selectivă specifică se poate justifica doar dacă se presupune că dezvoltarea este un proces închis informațional — ca și „revelația" „programului" cibernetic. Dar, după cum am văzut, cea mai simplă formațiune de structură departe-de-echilibru este deja foarte sensibilă la influențele externe. Astfel, pentru a nu spune mai mult, problema rămîne deschisă. Stephan J. Gould a făcut aluzie chiar la o eventuală „reîntoarcere a Monstrului Încrezător" [150], adică la ipoteza eretică a lui Richard Goldschmidt conform căreia salturile evolutive dau naștere speciilor noi. Monstrul Încrezător este produsul unei „macromutații" care-i dezvăluie un mod de viață calitativ nou. Și chiar dacă începe destul de stîngaci, deoarece nu va avea de înfruntat nici o competiție, el va avea șanse bune de

---

[150] Gould S. J., "Return of the Hopeful Monster" în *The Panda's Thumb*, W. W. Norton and Cie, New York, 1980.

supraviețuire, și va produce noi generații care vor fi supuse presiunii selective „normale", și, în mod progresiv, vor evolua spre o folosire din ce în ce mai bună a noii „nișe". Însuși Goldschmidt a introdus încă din 1918 noțiunea de „gene de viteză", adică gene care determină vitezele proceselor de dezvoltare, ceea ce fac de fapt enzimele codificate ADN. Iar Gould ne amintește că ușoarele schimbări ale vitezelor sau cronometrării în dezvoltare pot duce într-adevăr la tipuri divergente de adulți, adică să furnizeze o explicație pentru macromutațiile aparent neortodoxe [151].

Credem că acum ne aflăm în poziția de a evita riscul implicat de orice denunțare a reducționismului. Nu mai repetăm pur și simplu critica lui Aristotel la adresa atomiștilor epocii sale și nu mai opunem cunoașterea părții cunoașterii întregului. Una din marile noastre speranțe este aceea că analiza și reducționismul nu se mai pot identifica. Nu mai sîntem în mod automat conduși de la cunoașterea constituenților în interacțiune la concluzia că întregul „nu este decît ... " De fapt, putem trage concluzia în final că întregul este „nu numai" aceasta, dar „poate de asemenea" fi aceea sau aceea în alte împrejurări.

Mai ales, respingînd ideea că orice se poate deduce pur și simplu din cunoașterea comportamentului părților, nu sîntem obligați să acceptăm vechiul concept de organizare ierarhică, adică la fiecare nivel să apară un nou întreg, integrînd părțile într-un comportament de ansamblu guvernat de o logică străină lor și pe care ele nu o pot explica. Ajungem astfel la o concepție mai „echi-

---

[151] Pentru o reflectare sistemică asupra rolului crucial al cronometrării în dezvoltarea embriologică, vezi Gould S. J., Ontogeny and Phylogeny, Cambridge Mass., The Belknap Press of Harvard University Press, 1977.

librată" privind rolurile respective ale părților și ale parametrilor macroscopici care definesc sistemul ca un „întreg". Această concepție este valabilă nu numai pentru structurile fizico-chimice în care aspectele moleculare, în special mecanismele catalitice, sînt inextricabil legate de aspectele supramoleculare. Într-adevăr, ceea ce ne face să ne îndoim de această nouă dezvoltare în domeniul fizicii este caracterul general a ceea ce am numit „principiul de ordine al lui Boltzmann", adică punctul de vedere al bunului simț conform căruia activitatea medie a unei populații numeroase corespunde medierii comportamentelor individuale.

Departe-de-echilibru, un regim de funcționare se poate asemăna unei organizări nu pentru că realizează un plan străin de activitățile elementare, sau pe care le întrece, ci, dimpotrivă, deoarece este rezultatul amplificării unei fluctuații microscopice care, chiar în „momentul potrivit", a preferat o cale de reacție dintr-un număr mai mare de căi, la fel de posibile. De aceea, în anumite împrejurări, rolul jucat de comportamentele individuale poate fi decisiv. Și mai general, comportamentul „total" nu poate fi considerat ca fiind dominant în orice mod în care procesele elementare îl constituie. Avem de căutat aici conceptul de „producție" destul de bogat pentru a putea scăpa de alternativa dintre înrobire și transcendență. În mod similar, procesele de autoorganizare în condițiile stării departe-de-echilibru corespund unei interacțiuni delicate între întîmplare și necesitate, între fluctuații și legile deterministe. Ne așteptăm ca în vecinătatea fluctuațiilor unei bifurcații, elementele întîmplătoare să joace un rol important, în timp ce între bifurcații aspectele deterministe ar deveni dominante. Acestea sînt problemele pe care le vom cerceta acum mai în detaliu.

Capitolul VI

Ordine prin fluctuații

1. Între haos și ordine

Ne-am referit, în repetate rînduri, la cele două concepții extreme despre natură: concepția atomiștilor, cu accent asupra ciocnirilor întîmplătoare, și punctul de vedere al lumii mecanice care se bazează pe legile eterne, fără sfîrșit. Nici unul din aceste puncte de vedere nu poate fi satisfăcător — sîntem înconjurați de structuri. Cum să le înțelegem în funcție de ciocnirile întîmplătoare? La cealaltă extremă, legile eterne ale dinamicii ar reduce lumea la repetarea aceluiași lucru, la o tautologie.

Începem să vedem adevărata cale. Așa cum am observat, în procesele de autoorganizare *atît* întîmplarea cît și necesitatea joacă un rol esențial. Putem considera structurile disipative ca fiind fluctuații uriașe menținute datorită fluxului de energie și materie. Ele sînt într-adevăr rezultatul fluctuațiilor, dar odată formate pot fi stabilite în raport cu clase largi de perturbații. Sîntem departe de opoziția tradițională dintre caracterul arbitrar și lege. În acest punct de vedere, în special, nu poate exista nici o contradicție între întîmplare și necesitate, acolo unde este implicată formarea disipativului. Dimpotrivă, exemplul bifurcațiilor ne-a arătat cît de mică poate fi diferența dintre „evenimentele întîmplării" și evenimentele pe care le putem prevedea cu certitudine. În mod similar, cum vom vedea, conceptul mai general al ordinii prin fluctuații nu presupune nici o distincție *a priori* între „funcțional" și „disfuncțional". Ceea ce, la un moment dat, apare ca o deviație nesemnificativă legată de un așa-zis comportament normal poate, în alte

cazuri, să fie cauza crizei și reînnoirii. Regulile se asociază evenimentelor și astfel conțin un element de întîmplare. Totuși, faptul că nu se poate dovedi a fi necesară o formă de coeziune, care se află totdeauna la discreția fluctuației, nu înseamnă că, și trebuie accentuat acest lucru, ea este arbitrară. După cum spunea Samuel Butler laconic, „nimicul este întotdeauna pur și simplu orice“ [152].

Vedem că a „explica “ un fenomen nu înseamnă întotdeauna a-l deduce din motive necesare și suficiente. Aceasta nu înseamnă doar că determinarea completă a cauzelor unei structuri ar lăsa cale liberă întîmplării; de fapt, ea *implică* necesitatea de a lua în considerare dimensiunile fluctuante ale activităților elementare. Întîmplarea nu apare acolo unde nu reușește determinarea, ci este chemată de felul de determinare de care avem nevoie departe de echilibru, unde evenimentele și procesele joacă un rol esențial.

Credem că fizica a ajuns, în acest fel, mult mai aproape de conceptele familiare altor științe. În biologia evolutivă, în istorie, în sociologie, ca și în experiența noastră de zi cu zi, gîndim în raport cu dezvoltările *deschise dar nu arbitrare.* Aceasta este cauza pentru care conceptul de ordine prin fluctuații pare să conducă, așa cum vom vedea în acest capitol, spre noi posibilități în relațiile dintre științe. În timp ce în mod tradițional se spunea că fizica inspira o poziție reducționistă, cu faimosul ei motto „nimic decît ...“, de data aceasta ea ne conduce la o concluzie foarte diferită: la imposibilitatea unor generalizări a priori, la nevoia de analiză, distincție, respect pentru diferențele foarte mici, determinări complicate și scări ale timpului intrinsec multiple.

Să începem prin simpla legătură între ordinea prin modelele de fluctuație și situațiile sociale. Problema stabilității și a fluctuațiilor în afara

---

[152] Citat în Needham J., *Time, the Refreshing River*, London, Allen and Unwin, 1943, p. 183.

fizicii este strîns legată de apariţia noutăţilor, a inovaţiilor. Stabilitatea unui sistem este studiată minuţios prin fluctuaţii care implică nu numai cantităţi deja prezente, dar, de asemenea, cantităţi (adică, noi tipuri de molecule), care anterior nu au existat în sistem. Vom discuta pe scurt în capitolul de faţă această problemă importantă a *„stabilităţii structurale"*.

Problema selecţiei şi amplificării unor activităţi sau transformări elementare, înţelegerea mecanismelor care selectează structurile rezultate din oceanul turbulent al fluctuaţiilor, se află într-o stare incipientă. Clar este doar faptul că în condiţiile stării departe-de-echilibru aceste mecanisme selective au o precizie de un alt ordin de mărime decît în starea aproape-de-echilibru. Exprimînd întrucîtva în termeni antropomorfici cele expuse în capitolul precedent, putem spune că departe-de-echilibru materia începe să-şi „perceapă" mediul, să distingă între micile diferenţe care, în cazul echilibrului, ar fi nesemnificative. În starea de echilibru sau aproape-de-echilibru avem numai cîteva structuri (stări solide, lichide sau gazoase) care pot fi modificate cînd schimbăm mediul. Departe-de-echilibru sistemele „folosesc" diferenţele mici din mediu pentru a produce structuri diferite. „Comunicarea" şi „perceperea" sînt cuvinte cheie pentru noul comportament al materiei departe-de-echilibru, iar ele aduc cu sine naşterea unui mare număr de întrebări noi legate de relaţia dintre activităţile fluctuante şi rezultanta lor globală.

2. Legea numerelor mari

Faptul că fluctuaţiile joacă un rol decisiv în stabilirea unui regim macroscopic implică o transformare profundă în relaţia dintre nivelul microscopic şi cel macroscopic. Separarea dintre cele două nivele, adică imunitatea nivelului macroscopic faţă de zgomotul microscopic nu mai poate fi considerată ca regulă generală.

Fiecare dintre noi simte instinctiv ce sînt fluctuațiile și împrejurările în care ele pot fi neglijate. Să luăm de exemplu un gaz compus din N molecule închise într-un volum V. Să împărțim acest volum în două părți egale. Care va fi numărul particulelor X într-una din cele două porțiuni ale volumului? Variabila X este atunci o variabilă „aleatorie" și ne-am aștepta să aibă valoarea în vecinătatea lui $N/2$.

O teoremă fundamentală în teoria probabilităților, legea numerelor mari, ne dă o estimare a „erorii" datorate fluctuațiilor. În esență, teorema afirmă că dacă îl măsurăm pe X trebuie să ne așteptăm la o valoare de ordinul $\frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{N}{2}}$. Dacă N este mare, diferența introdusă de fluctuații $\sqrt{\frac{N}{2}}$ poate fi de asemenea mare (dacă $N = 10^{24}$, $\sqrt{N} = 10^{12}$); totuși eroarea relativă introdusă de fluctuații este de ordinul $\frac{\sqrt{N/2}}{N/2}$ sau $\frac{1}{\sqrt{N}}$ și astfel tinde spre zero pentru o valoare suficient de mare a lui N. De îndată ce sistemul devine destul de mare, legea numerelor mari ne permite să facem și distincție clară între valorile medii și fluctuații, iar cele din urmă pot fi neglijate.

Această formulare a legii numerelor mari este potrivită pentru toate legile clasice care conțin calcule de probabilități descrise în manualele școlare, de exemplu legea lui Gauss, legea lui Poisson și altele. Ea joacă un rol esențial în toate domeniile unde trebuie descris comportamentul unei populații numeroase. Mai general, putem spune că, legea numerelor mari definește nivelul normal de zgomot datorat fluctuațiilor și că ea justifică posibilitatea descrierilor macroscopice în funcție de *valorile medii*, atît în științele fizice cît și în cele sociale.

Și totuși știm foarte bine că în ceea ce privește populațiile umane sau animale această lege este

uneori încălcată. Unele comportamente elementare „deviante" reușesc ocazional să destabilizeze o funcționare globală în loc s-o dea înapoi fără consecințe. Să citățm două exemple unde creșterea fluctuației ce precede formarea unei structuri noi, se poate urmări în detaliu. Primul este cazul agregării unor amibe acrasiale, care atunci cînd sînt amenințate de inaniție se unesc într-o singură masă supracelulară; am menționat deja acest exemplu în capitolul V, secțiunea a 5-a. O altă ilustrare interesantă a rolului fluctuațiilor corespunde primei etape din construcția unui cuib de termite. Această construcție a fost cercetată mai întîi de Grasse iar Deneubourg o studiază din punctul de vedere din care sîntem și noi interesați aici.

Procesul de autoagregare la o populație de insecte. Larvele unor coleoptere (Dendroctonus Micans) sînt distribuite inițial la întîmplare între două straturi de sticlă orizontale la doi milimetri distanță. Marginile sînt deschise iar suprafața este egală cu 400 cm^2.

Procesul de agregare apare ca urmare a competiției dintre doi factori: mișcările întîmplătoare ale larvelor și reacția lor pozitivă la un produs chimic, un „feromon" pe care ele îl sintetizează din terpenele conținute în copacul din care se hrănesc și pe care fiecare îl emană cu o viteză ce depinde de starea lor de nutriție. Feromonul se răspîndește în spațiu iar larvele se mișcă în direcția gradientului său de concentrație. O astfel de reacție produce un mecanism autocatalitic deoarece larvele, cum ele se adună în grup, contribuie la sporirea atractivității regiunii respective. Cu cît este mai mare densitatea locală a larvelor în această regiune cu atît este mai puternic gradientul și cu atît este mai mare tendința de a merge spre punctul aglomerat.

Experimentul dovedește că densitatea populației de larve determină nu numai viteza procesului de agregare ci și eficiența lui, adică numărul

de larve care vor face parte în final din grupul respectiv. La densitate mare

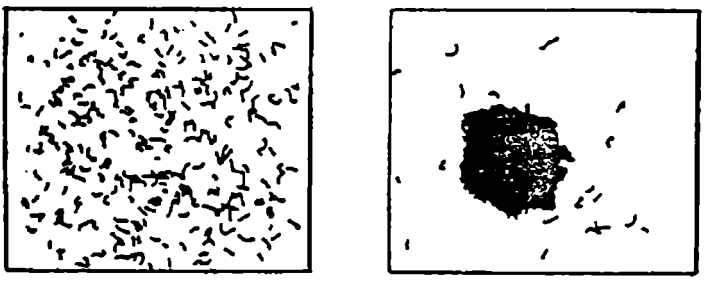

FIG. 22. Autoagregarea la densitate mare. Timpul este 0 minute și 21 de minute.

apare un grup și acesta crește repede în centrul sistemului experimental. La densitate mică

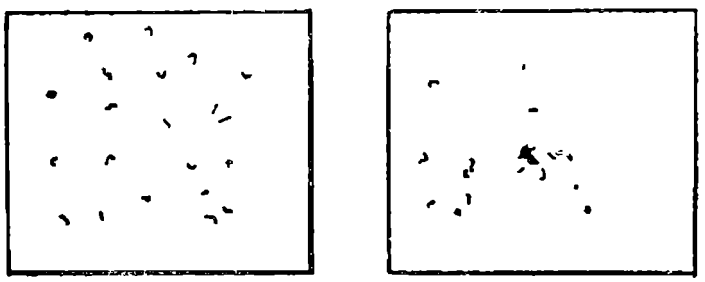

FIG. 23. Autoagregarea la densitate mică. Timpul este 0 minute și 22 de minute.

nu apare nici un grup stabil.

Mai mult, alte experimente au explorat posibilitatea pentru un grup de a se dezvolta pornind de la un „nucleu" creat artificial într-o regiune periferică a sistemului. Apar diferite soluții care depind de numărul de larve din acest nucleu inițial.

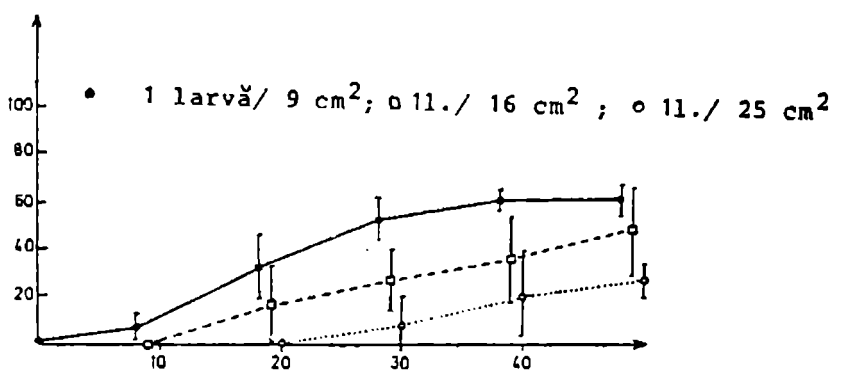

FIG. 24. Procentul numărului total de larve într-un grup central în funcție de timpul la trei densități diferite.

Dacă acest număr este mic în comparație cu numărul total de l arve, grupul nu reușește să se mărească.

FIG. 25. Scăderea grupurilor inițiale de 10 larve. Populație totală de 80 de larve. N: numărul de larve din grup.

Dacă numărul este mare, grupul crește.

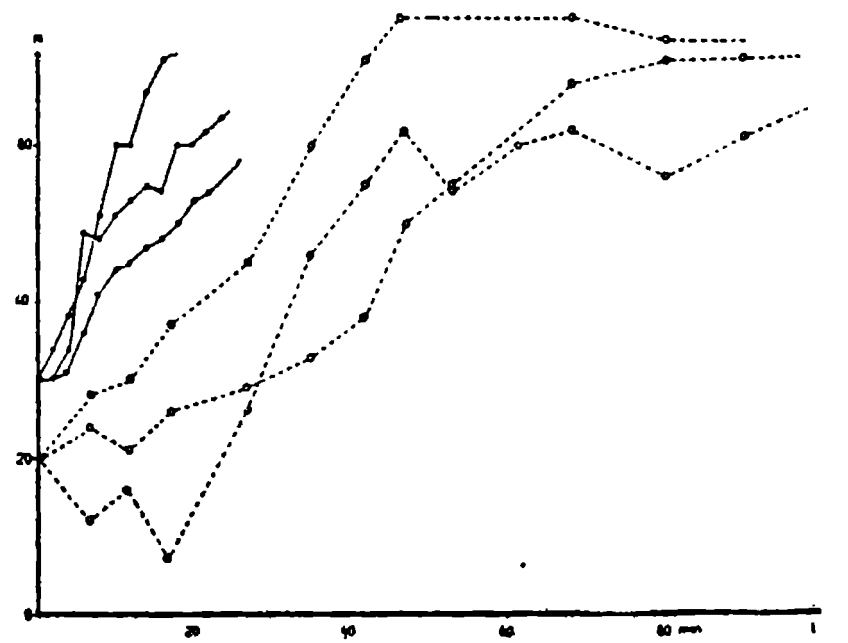

FIG. 26. Creșterea grupurilor inițiale de 20 și 30 de larve Populație totală de 80 de larve.

Pentru valorile intermediare ale nucleului inițial se pot dezvolta tipuri noi de structuri: apar și coexistă două, trei sau patru alte grupuri, cu o durată de viață cel puțin mai mare ca timpul de observație.

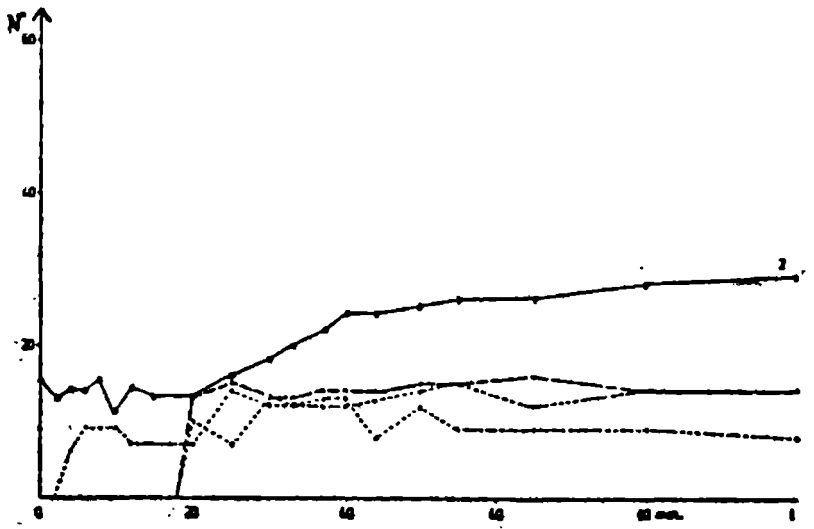

FIG. 27. Soluții de multigrup. Valoarea inițială a grupului de 15 larve. Populație totală de 80 de larve.

Nici o astfel de structură de multigrup nu a fost observată vreodată în experimente cu condiții inițiale omogene. S-ar părea că acestea corespund, într-o diagramă de bifurcație, stărilor stabile compatibile cu valoarea parametrilor care caracterizează sistemul dar la care acest sistem nu poate ajunge pornind de la condițiile omogene. Nucleul ar juca rolul unei perturbații finite necesară pentru a excita sistemul și pentru a-l exila în regiunea diagramei de bifurcație corespunzătoare unor astfel de familii de soluții de multigrup.

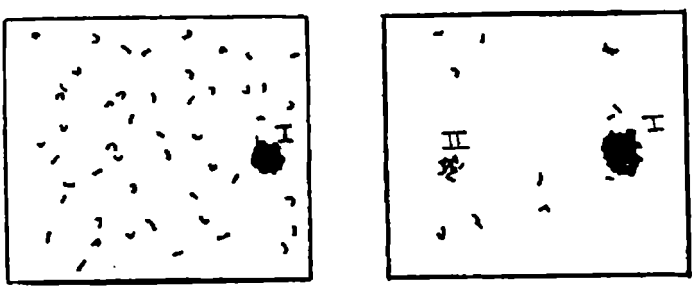

FIG. 28. Creșterea unui grup (I) introdus periferic ceea ce determină formarea unui al doilea mic grup (II).

Construcția unui cuib de termite [153] este una din acele activități coerente care i-au făcut pe unii specialiști să speculeze ideea unei „inteligențe colective" în comunitățile insectelor. Dar în mod curios, termitele au nevoie de foarte puține informații pentru a lua parte la construcția unui edificiu atît de mare și de complex cum este cuibul lor. Prima etapă în această activitate, adică construcția temeliei, a arătat Grassé, este rezultatul a ceea ce pare a fi un comportament dezordonat al termitelor. În această etapă ele transportă și aruncă bulgări de pămînt, la întîmplare, dar, în timp ce fac acest lucru impregnează bulgării cu un hormon, care atrage alte termite. Situația poate fi prezentată astfel: fluctuația inițială este pur și simplu acumularea puțin mai mare a bulgărilor de pămînt care apar inevitabil într-un moment sau altul, într-un anumit punct al zonei. Amplificarea acestui eveniment este produsă de densitatea crescută a termitelor în zonă, atrase de concentrația mai mare a hormonului. Pe măsură ce termitele devin mai numeroase într-o regiune, crește probabilitatea ca ele să arunce bulgării lor de pămînt acolo, ducînd la rîndul ei la o și mai mare concentrație a hormonului ... În acest fel se formează „stîlpii", separați printr-o distanță echivalentă cu zona pe care se răspîndește hormonul.

Exemplul termitelor este un caz tipic pentru noi. Deși principiul de ordine al lui Boltzmann ne permite să descriem evoluțiile din chimie sau biologie unde sînt înlăturate diferențele și inegalitățile, iar condițiile inițiale sînt uitate, el este

---

[153] Deneubourg J. L., „Application de l'ordre par fluctuation à la description de certaines étapes de la construction du nid chez les termites" în *Insectes Sociaux, Journal International pour l'étude des Arthropodes sociaux*, vol. 24, nr. 2/1977, p. 117—130. Acest prim model a fost de fapt lărgit în legătură cu noile studii experimentale (Bruinsma O. H., "An Analysis of Building Behaviour of the Termite Macroterms Subhyalinus", *Proceedings of the VIIIth Congress* IUSSI, Wegeningen, 1977.

lipsit de putere în situații ca acestea unde cîteva „decizii" într-o situație instabilă pot îndrepta sistemul format dintr-un mare număr de entități spre o structură globală.

Să ne întoarcem acum la chimie. Cinetica chimică neliniară poate conduce, așa cum am văzut, la structuri disipative. Deoarece aceste structuri sînt rezultatul amplificării fluctuațiilor care aparțin inițial de nivelul microscopic, trebuie să ne așteptăm să găsim o legătură între tipul de cinetică chimică (de exemplu, etapele catalitice) și legile fluctuațiilor. Pentru a putea studia această problemă, trebuie să părăsim cadrul conceptual furnizat de numărul de complexiuni explicate de termodinamică. Într-adevăr, această explicație se bazează pe calcularea numărului de stări microscopice posibile, diferite, acestea fiind luate a priori ca echiprobabile, și astfel trebuie să ignore procesele microscopice care produc aceste stări și determină soarta fluctuațiilor. Modelele cinetice pot, dimpotrivă, să studieze situațiile pe care le-am discutat deja în legătură cu legile termodinamicii. Sîntem conduși la concluzia că, aproape-de-echilibru, legile fluctuațiilor sînt *universale*, în timp ce mai departe-de-echilibru, în sistemele cu o cinetică neliniară, legile fluctuațiilor devin *specifice* depinzînd de tipul de nelinearitate implicat [153a].

În special în vecinătatea punctelor de bifurcație, unde sistemul poate „alege" între diferite regimuri de funcționare, ne putem aștepta ca fluctuațiile să fie anormal de mari; ele pot atinge chiar același ordin de mărime ca și valorile macroscopice medii; chiar ideea unei descrieri macroscopice, a unei distincții între fluctuații și valori medii se prăbușește.

Una din caracteristicile cele mai izbitoare ale unor astfel de stări de bifurcație constă în faptul că, la echilibru sau aproape-de-echilibru, fie-

---

[153a] Nicolis G. și Prigogine I., „Fluctuations in Nonequilibrium Systems", în *Proceedings of the National Academy of Sciences*, USA vol. 68, 1971, p. 2102–2107.

care porțiune a sistemului se comportă independent, aceste porțiuni, separate prin distanțe macroscopice, devin corelate, adică vitezele reacțiilor care apar în aceste porțiuni devin independente. Evenimentele locale au repercusiuni de-a lungul întregului sistem. Fiecare parte a sistemului devine astfel capabilă să „simtă" ce se întîmplă în alte părți. Sistemul se comportă ca un întreg.

După cum am mai arătat, aceasta este o situație singulară, o provocare dată comportamentului populațiilor numeroase de către „intuiția" noastră. Haosul echilibrat indiferent lasă loc aici unui haos activ, de felul aceluia care ne poate reaminti unele speculații presocratice legate de nașterea lucrurilor, un haos care conține potențial o mulțime de structuri diferite.

Legat de acest lucru vom menționa faptul că studiul cinetic al reacțiilor chimice prevede în unele cazuri rezultate distincte de acelea în funcție de ecuațiile diferențiale ce corespund unei teorii macroscopice a proceselor chimice. De exemplu, se poate modifica poziția bifurcației așa cum a fost ea prevăzută de teoria macroscopică (în sistemele unidimensionale bifurcațiile pot fi distruse și înlocuite cu tranziții line).

În cazul „tranzițiilor noi" pe care tocmai le-am comentat, noua structură poate apărea la punctul de bifurcație fără nici o discontinuitate. Astfel de situații sînt o reminiscență a tranzițiilor de fază în care o stare a materiei este lin transformată într-o alta (acest lucru se întîmplă la punctul critic unde nu există nici o distincție clară între lichid și gaz). În alte cazuri, avem „tranziții tari" care implică un salt între un regim și altul, așa cum e cazul tranzițiilor de fază la echilibru în procesul de solidificare.

Cînd o structură nouă apare ca rezultat al unei perturbații finite, fluctuația care o conduce de la un regim la altul nu o poate invada dintr-o singură mișcare. Ea trebuie să se stabilească mai întîi într-o regiune limitată și apoi să invadeze întreg spațiul: avem deci un mecanism de *nucleație.*

Depinzînd de faptul că dimensiunea acestei regiuni de fluctuație inițiale se află sub sau deasupra valorii critice (în cazul structurilor disipative chimice, acest prag depinde în special de constantele cinetice și de coeficienții de difuzie), fluctuația ori regresează, ori, dimpotrivă, se răspîndește în întreg sistemul. Acesta este un fenomen de *nucleație*, cu care sîntem familiari în teoria clasică a schimbării de fază: de exemplu, într-un gaz picăturile de condensare se formează și se evaporă neîncetat. Totuși, cînd temperatura și presiunea ating un punct unde starea lichidă devine stabilă există o dimensiune critică a picăturii (care este cu atît mai mică cu cît temperatura este mai joasă și presiunea mai ridicată). Dacă mărimea picăturii depășește acest „prag de nucleație", sistemul gazos se transformă aproape instantaneu într-unul lichid.

Mai mult, studiile teoretice și simulațiile numerice arată că dimensiunea critică a nucleului crește odată cu eficiența mecanismelor de difuzie ce leagă toate porțiunile sistemului. Cu alte cuvinte, cu cît este mai rapidă comunicarea în interiorul sistemului, cu atît este mai mare procentajul fluctuațiilor nesemnificative care sînt incapabile să schimbe starea sistemului, adică cu atît sistemul este mai stabil. Acest concept de dimensiune critică este o consecință a faptului că în astfel de situații „lumea exterioară", mediul porțiunii fluctuante, tinde întotdeauna să diminueze fluctuațiile. Ele vor fi, deci, ori distruse,ori amplificate conform eficacității comunicării dintre regiunea fluctuantă și lumea exterioară. Dimensiunea critică măsoară raportul dintre volumul, în care au loc reacțiile, și suprafața de contact, prin care această porțiune interacționează cu lumea exterioară. Dimensiunea critică este astfel determinată de competiția între „puterea de integrare" a sistemului și mecanismele chimice care amplifică fluctuația în interiorul subregiunii fluctuante.

Specialiștii în modele matematice de situații ecologice [154] au pus problema limitelor complexității unui sistem. Într-adevăr, se poate demonstra că, cu cît sistemul este mai complex, cu atît sînt mai numeroase șansele ca, pentru orice stare, fluctuațiile să fie mai periculoase. Cum pot exista, se întrebau unii, sisteme atît de complexe ca organizațiile ecologice sau umane? Cum reușesc ele să evite haosul permanent? Probabil, în sistemele foarte complexe, unde speciile și indivizii interacționează în diferite feluri, difuzia, adică comunicarea dintre fiecare punct al sistemului, este de asemenea rapidă. În acest caz, pragul de nucleație a fluctuațiilor periculoase asigură o anumită stabilitate. Astfel, complexitatea maximă atinsă prin organizarea unui sistem fără a deveni instabil ar fi determinată de rapiditatea de comunicare.

3. Stabilitatea structurală

În ce moment putem să începem să vorbim despre „evoluție" în adevăratul sens al cuvîntului? Cum am văzut, apariția structurilor disipative are nevoie de condiții departe-de-echilibru. Totuși ecuațiile reacție-difuzie conțin parametrii care pot fi transferați înapoi la condițiile aproape-de-echilibru. Sistemul poate studia diagrama bifurcației în ambele direcții. În mod similar, un lichid se poate transfera din curgerea luminoasă în turbulență și invers. Nu este implicat nici un model evoluționar clar.

Situația în cazul modelelor ce implică mărimea sistemului ca un parametru de bifurcație este deja destul de diferită. Aici, creșterea care apare în mod ireversibil în timp produce o evoluție ireversibilă. Dar ne aflăm încă în fața unui caz special, chiar dacă poate fi semnificativ pentru etapele dezvoltării morfogenetice.

---

[154] May R., *Stability and Complexity in Model Ecosystems*, Princeton, The University Press, 1973.

Trebuie, fiindcă veni vorba, să subliniem faptul că modelul evoluției inspirat în general de dezvoltarea embriologică poate duce la o imagine falsă a naturii: în funcție de totalitățile armonioase și finalizate. Într-adevăr, stabilitatea dezvoltării morfogenetice este destul de remarcabilă, dar nu prea poate fi generalizată. Amestecul foarte specific de ordine și întîmplare care o caracterizează și care permite o distincție foarte clară între „normal" și „monstruos" implică o „canalizare" a proceselor, adică stabilizarea unor căi de dezvoltare opuse tuturor celorlalte posibilități. O astfel de canalizare este rezultatul unei evoluții *specifice*, determinată de o presiune selectivă puternică, privilegiind stabilitatea față de evidență.

Aici, este ca și cum însăși istoria selectivă și-a asumat activitatea de modelare: unele căi de reacție au fost selectate și stabilite, altele s-au închis; unele interacțiuni sînt în mod sistematic favorizate, altele sînt evitate. Distincția sigură dintre dezvoltarea normală și cea patologică depinde de rigiditatea acestei selecții. Pentru a putea înțelege nu numai dezvoltările normale ci și pe cele ocazional monstruoase nu putem să luăm de bună situația „pre-modelizatoare" evoluționară așa cum a făcut Aristotel împreună cu alți vitaliști, ci trebuie să vedem această stabilizare ca ceva parțial și relativ.

Acest lucru este valabil și în alte domenii. Indiferent dacă este vorba de domeniul evoluției biologice, ecologice sau sociale nu putem lua de bun un anumit ansamblu de unități care interacționează, dar nici un ansamblu de transformări ale acestor unități. Însăși definiția sistemului poate astfel să fie modificată de către evoluție. Cel mai simplu exemplu de evoluție de acest fel este asociat cu conceptul de stabilitate structurală. Acesta se ocupă de reacția unui sistem dat față de introducerea unor unități de tip nou capabile să se multiplice în timp cc iau parte la procesele sistemului. Problema stabilității față de acest fel de

schimbare se poate formula după cum urmează: noii constituenți, introduși în cantități mici, conduc la un nou ansamblu de reacții printre componentele sistemului. Acest nou ansamblu de reacții intră în competiție cu modul deja existent de funcționare din interiorul sistemului. Dacă sistemul este „stabil din punct de vedere structural" față de această perturbare, noul mod de funcționare va fi incapabil să se stabilească și „inovatorii" nu vor supraviețui. Dacă dimpotrivă, fluctuația structurală se impune cu succes, dacă, spre exemplu, cinetica prin care se multiplică „inovatorii" este destul de rapidă pentru ca aceștia să invadeze sistemul în loc să fie distruși, întregul sistem va adopta un nou mod de funcționare, activitatea sa va fi guvernată de o nouă „sintaxă" [155].

Exemplul cel mai simplu este cel al unei populații de macromolecule ce se reproduc prin polimerizare în interiorul sistemului, fiind hrănite cu monomerii A și B. Să presupunem că procesul de polimerizare ar fi autocatalitic, adică un polimer deja sintetizat servește ca model la formarea unui lanț cu aceeași secvență. Acest fel de sinteză este mult mai rapidă decît sinteza în care nu există nici un model care să poată fi copiat. Fiecare tip de polimer, caracterizat printr-o secvență specială de A și B va fi descris printr-un ansamblu de parametri care măsoară viteza de sinteză a copiei pe care o catalizează, fidelitatea procesului de copiere și timpul de viață al macromoleculelor. Se poate arăta că, în anumite condiții, un singur tip de polimer, avînd o succesiune, să spunem ABABABAB ..., domină

---

[155] Allen P. M. "Darwinian Evolution and a Predator-Prey Ecology" în *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 37, 1975, p. 389—405 și "Evolution, Population and Stability" în *"Proceedings of the National Academy of Science USA"*, vol. 73, nr. 3, 1976, p. 665—668. Vezi și Czaplewski R., "A Methodology for Evaluation of Parent-Mutant Competition în *Journal for Theoretical Biology*, vol. 40, 1973, p. 429—439.

populația, ceilalți polimeri fiind doar fluctuații față de el. Problema stabilității structurale se pune de fiecare dată, cînd, ca urmare a unei „erori" de copiere, își face apariția în sistem un nou tip de polimer, caracterizat printr-o succesiune pînă acum necunoscută și, printr-un nou ansamblu de parametri, își face apariția în sistem și încep să se multiplice, intrînd în competiție cu speciile dominante pentru folosirea monomerilor disponibili A și B. Întîlnim aici concepția darwinistă clasică a „supraviețuirii celui mai apt".

Este interesant faptul că astfel de idei stau la baza modelului evoluției prebiotice expus de Eigen și colaboratorii săi. Detaliile argumentației lui Eigen sînt ușor accesibile în altă parte [156]. Vom prezenta pe scurt faptul că argumentația tinde să dovedească existența unui tip de sistem care poate rezista „erorilor" pe care le fac continuu populațiile autocatalitice, adică un sistem de polimeri stabil structural pentru orice „polimer mutant" posibil. Sistemul se compune din două seturi de molecule de polimeri. Moleculele primului set sînt de tip „acid nucleic" fiecare moleculă se poate reproduce și acționează ca un catalizator în sinteza unei molecule din cel de-al doilea set, care este de tip proteic: fiecare moleculă a celui de-al doilea set catalizează într-adevăr autoreproducerea unei molecule din cadrul primului set. Această asociație transcatalitică dintre moleculele celor două seturi se poate închide într-un ciclu (fiecare „acid nucleic" se reproduce cu ajutorul unei „proteine"). Ea este atunci capabilă de a supraviețui trainic, adăpostită de apariția continuă a noului polimer cu o eficiență reproductibilă ridicată: într-adevăr, nimeni nu va putea să se amestece în ciclul de autoreproducere format de „proteine" și „acizi nucleici". Un nou fel de evoluție poate astfel începe să crească pe această bază stabilă inaugurînd codul genetic.

---

[156] Vezi Eigen M. și Schuster P., *The Hypercycle*, Berlin, Springer, 1979, vol. 40., 1973, p. 429—439.

Modul de abordare a lui Eigen este, desigur, de mare interes. Un factor important ce trebuie luat în considerare într-un mediu cu capacitate limitată este, desigur, selecția darvinistă pentru autoreproducerea fidelă. Am fi tentați să credem, totuși, că acesta nu este singurul aspect care a fost implicat în evoluția prebiotică. De asemenea, sînt importante și condițiile „departe-de-echilibru" legate de cantitatea critică a fluxului de energie și materie. Pare rezonabil să presupunem că unele din primele etape către viață au fost asociate cu formarea mecanismelor capabile să absoarbă și să transforme energia chimică, în așa fel încît să apropie sistemul de condițiile stării „departe-de-echilibru". În această etapă, viața sau „pre-viața", era, probabil, atît de diluată încît selecția darvinistă n-a jucat rolul esențial pe care a trebuit să-l joace în etapele mai tîrzii.

O mare parte a acestei cărți se axează pe relația dintre microscopic și macroscopic. Una din problemele importante ale teoriilor evoluționiste constă în urmărirea feed-back-ului final dintre structurile macroscopice și evenimentele microscopice: structurile macroscopice ce apar din evenimentele microscopice duc, la rîndul lor, la o modificare a mecanismelor microscopice. În mod curios, în momentul de față, cazurile mai bine cunoscute și înțelese se ocupă de situațiile sociale. Cînd construim un drum sau un pod, putem ghici felul în care acesta va afecta comportamentul populației și acest lucru va determina, la rîndul său, perspective noi pentru alte modificări ale căilor de comunicație din regiunea respectivă.

În cazurile sociale, problema stabilității structurale are un mare număr de aplicații. Dar trebuie subliniat faptul că o astfel de aplicație implică o simplificare serioasă a situației care se definește în funcție de competiția dintre procesele de autoreproducere într-un mediu în care resursele necesare există doar într-o cantitate limitată.

În ecologie ecuația clasică pentru o astfel de problemă se numește „ecuația logistică". Această

ecuație descrie evoluția unei populații care conține N indivizi, luînd în considerare locul nașterii, rata mortalității și cantitatea de resurse disponibile populației. Ecuația logistică se poate scrie: $dN/dt = rN(K - N) - mN$, unde r și m sînt constantele caracteristice natalității și mortalității, iar K este „capacitatea de alimentare". Oricare ar fi valoarea inițială a lui N, cu timpul ea va atinge valoarea stării staționare $N = K - m/r$ determinată de diferențele dintre capacitatea de alimentare și raportul constantelor natalității și mortalității. Cînd se atinge această valoare, mediul este saturat și în fiecare moment mor tot atîția indivizi cîți se nasc.

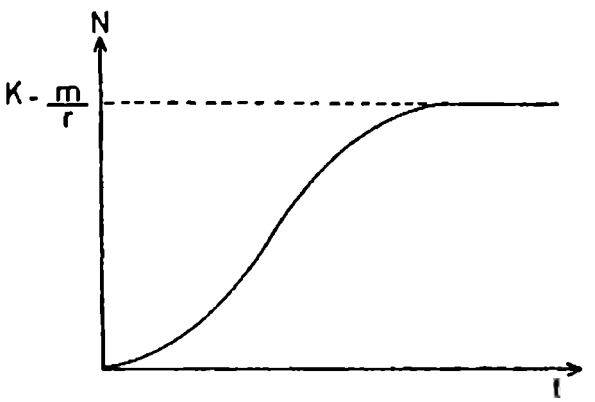

FIG. 29. Curba logistică: stare staționară $N = 0$ este stabilă, starea staționară $N = K - m/r$ este stabilă în privința fluctuațiilor lui N.

Simplitatea aparentă a ecuației logistice ascunde într-o oarecare măsură complexitatea mecanismelor implicate. Am menționat deja efectul pe care-l are zgomotul exterior. Aici are în mod special o semnificație simplă. În mod evident, din cauza fluctuațiilor climatice, coeficienții K, m, r nu pot fi constanți. Se poate demonstra că astfel de fluctuații pot răsturna complet echilibrul ecologic și chiar pot duce populația la dispariție. Bineînțeles, ca urmare, noi procese, cum ar fi depozitarea de hrană și formarea de noi colonii, încep, și în final reușesc, să evite unele efecte ale fluctuațiilor externe.

Dar mai mult decît atît: în loc să scriem ecuația logistică ca pe o ecuație continuă în timp, să comparăm populația la intervale de timp fixe (de exemplu, la interval de un an). Ecuația logistică „discretă" poate fi scrisă sub forma :

$$N_{n+1} = N_n \left(1 + r\frac{(1 - N_n)}{K}\right) \text{ unde } N_n \text{ și } N_{n+1}$$

sînt populații separate printr-un interval de un an. Trăsătura remarcabilă observată de R. May [157], constă în faptul că ecuațiile, în ciuda simplității lor, admit un număr tulburător de soluții. Pentru valorile parametrului 0 r 2, avem, ca și în cazul continuu, o apropiere monotonă de echilibru. Pentru valorile lui r mai mici de 2,444 se instalează un ciclu limită: avem acum un comportament periodic cu o perioadă de doi ani. Acesta este urmat de cicluri de patru, opt ... ani pînă cînd comportamentul poate fi descris ca fiind haotic (dacă $r > 2{,}57$). Avem aici o trecere spre haos în sensul apărut în capitolul V. Se realizează oare acest haos în natură? Studii recente [158] par să indice că parametrii care caracterizează populațiile naturale le țin departe de regiunea haotică. De ce? Putem găsi o rațiune pentru acest fapt deosebit? Avem aici una din problemele foarte interesante create de întîlnirea problemelor evoluționiste cu matematica produsă de simularea computeristă.

4. Evoluțiile logistice

Pînă acum, am adoptat un punct de vedere static. Parametrii K, r, m se presupune că sînt dați. Ne îndreptăm acum spre mecanismele de selecție; asta înseamnă că acești parametri pot varia acum în timpul evoluțiilor biologice sau ecologice.

---

[157] May R., în *Science*, vol. 186, p. 645—647, 1974; vezi și May R., "Simple Mathematical Models with very Complicated Dynamics", în *Nature*, vol. 261, p. 459—467, 1976.

[158] Hassell M. P., *The Dynamics in Arthropod Predator-Prey Systems*, Princeton University Press, Princeton, 1978.

Să ne oprim întîi asupra problemelor ecologice. Trebuie să ne așteptăm ca în timpul evoluției biologice valorile parametrilor ecologici K, r, m, pe care i-am introdus în secțiunea anterioară să varieze (în mod evident la fel ca mulți alți parametri și alte variabile, cuantificabile sau nu). Societățile vii continuă să introducă noi căi de exploatare a resurselor existente sau să descopere unele noi (adică K crește) și în mod continuu să vină cu noi moduri de a-și prelungi viața sau de a se înmulți mai rapid. Fiecare echilibru ecologic definit de ecuația logistică este astfel doar temporar, și o nișă definită logistic va fi ocupată în mod succesiv de o serie de specii, fiecare capabilă s-o elimine pe precedenta cînd „aptitudinea" sa pentru a exploata nișa, măsurată de mărimea $K - m/r$, devine mai mare. Astfel ecuația logistică ne conduce spre definiția unui caz foarte simplificat, în care putem da o formulare cantitativă a concepțieida rviniste despre„ supraviețuirea celui mai apt". „Cel mai apt" este specia pentru care la un anumit moment cantitatea $K - m/r$ este cea mai mare.

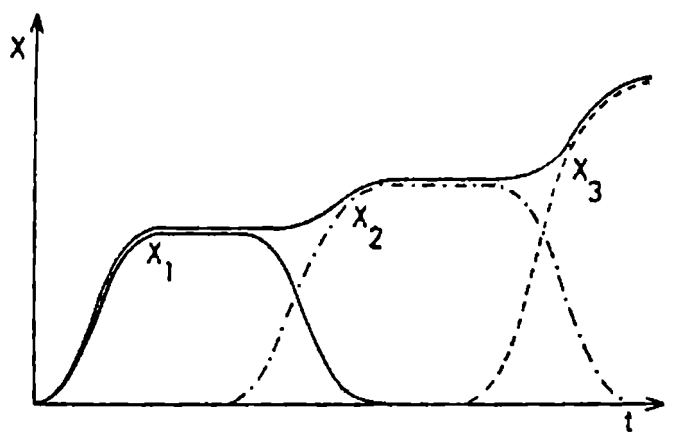

FIG. 30. Succesiunea de stări staționare atinse de diferite populații caracterizate prin valori crescînde ale lui $K - m/r$.

Deși restrictivă, problema descrisă de ecuația logistică ne conduce deja spre unele dintre cele mai frumoase exemple de inventivitate oferite de natură. Într-adevăr, în unele cazuri, selecția acți-

onează clar, direct asupra parametrilor cinetici ai ecuației logistice, fără nici o posibilitate pentru membrii individuali ai populației de a învăța din experiență.

Este cazul omizilor care trebuie să rămînă nedetectate deoarece încetineala mișcărilor lor ar face imposibilă orice încercare de a scăpa.

„Strategiile elaborate pentru folosirea otrăvurilor și spinilor iritanți, ca și manifestările de natură să intimideze, sînt foarte eficiente în respingerea păsărilor și a altor răpitori potențiali. Dar nici una dintre aceste strategii nu este întotdeauna eficientă împotriva tuturor răpitorilor, în special dacă un răpitor este flămînd. Strategia ideală constă în a rămîne total nedetectat. Unele omizi se apropie de acest ideal, iar varietatea și sofisticarea strategiilor folosite de sute de lepidoptere pentru a rămîne nedetectate ne amintește de cuvintele eminentului naturalist al secolului al XIX-lea, Louis Agassiz: „Posibilitățile de existență se îndreaptă atît de mult spre extravagant încît este puțin probabil ca orice concepție prea extravagantă pentru Natură să se realizeze [159].

Cunoaștem strategiile mimice, fie ele imitarea de către omidă a căderii unei păsări, a unei frunze sau unui băț. Dar omizile nu au elaborat strategii numai pentru a se ascunde ci și pentru a camufla rezultatele activităților lor devastatoare, adică frunzele mîncate parțial care ar putea atrage atenția păsărilor. Unele se hrănesc în așa fel încît să conserve forma frunzei, mîncînd-o treptat de jur împrejur și făcînd-o mai mică. Altele se hrănesc doar în timpul nopții și cînd se face ziuă desprind frunzele, în acest fel suprimîndu-le pe cele mîncate parțial, strategie care atestă, între altele, capacitatea păsărilor de a recunoaște deteriorarea frunzei în căutarea lor de omizi.

---

[159] Heinrich B., "Artful Diners", în *Natural History*, vol. 89, nr. 6, 1980, p. 42—51, citat p. 42.

În timp ce strategia omizilor apare ca un joc al frecvenței întîlnirilor dintre pradă și răpitor, vedem că unele specii parazite încearcă să mărească frecvența anumitor întîlniri, în acest fel sporind șansele de a trece prin diferite etape ale ciclului lor reproductiv [160]. După cum spunea Milton Love: „Soarta majorității paraziților nu este fericită. Șansele sînt minime ca orice individ să supraviețuiască pentru a se reproduce deoarece, în cazul multor specii parazitul trebuie să treacă printr-una, două sau trei gazde intermediare înainte de a ateriza la gazda «definitivă», cea în care parazitul atinge vîrsta matură". În timp ce multe larve de paraziți lasă întîmplarea să decidă dacă ele vor reuși să treacă din gazdă în gazdă, și, mai precis, aceasta deseori înseamnă să ai încredere în strategia inundării mediului cu urmași — altele sînt mult mai active. De exemplu, trematodul ficatului oii trebuie să treacă de la o furnică la o oaie, unde în final se va reproduce. Șansele ca orice oaie să înghită o furnică contaminată sînt foarte mici, dar este incontestabil faptul că o furnică infestată se comportă într-un mod foarte anormal: ea începe să minimalizeze probabilitatea întîlnirii ei cu o oaie. Trematodul a „înhățat" cu adevărat corpul gazdei sale. El s-a ascuns în creierul furnicii și forțează victima să se comporte ca și cum s-ar sinucide: furnica posedată, în loc să stea pe pămînt, se cațără pe vîrful unui fir de iarbă și acolo, imobilă așteaptă oaia.

Alte situații tipice ale evoluției biologice pot fi investigate prin folosirea unor modele destul de asemănătoare ecuației logistice. De exemplu, este posibil să calculezi în ce condiții de competiție între specii poate fi avantajos pentru o parte a populației să se specializeze într-o activitate războinică și neproductivă (de exemplu „soldații" printre insectele sociale). Se poate, de asemenea, determina în ce fel de mediu o specie care s-a specializat, care

---

[160] Love M., "The Alien Strategy", în *Natural History*, vol. 89, nr. 5, 1980, p. 30—32.

și-a restrîns sfera de resurse de hrană, va supraviețui mai ușor decît o specie nespecializată care consumă mai puțin economic o gamă mai largă de resurse [161].

Dar astfel ajungem repede la probleme foarte diferite, cum e cea a organizării populațiilor diferențiate intern. Aici, distincțiile clare devin crucial necesare dacă vrem să evităm confuziile. În special, confuzia dintre populațiile unde numărul de indivizi și nimic altceva este variabila relevantă, iar populațiile unde indivizii nu sînt permutabili și unde fiecare, cu memoria, caracterul și experiența sa proprie, sînt chemate să joace un rol singular. Din aceste motive, relevanța ecuației logistice și, mai general, a oricărui raționament darvinist nou devine destul de relativă. Vom reveni mai tîrziu la această problemă.

Este interesant de observat faptul că aceeași curbă (10-*A*) care arată succesiunea criteriilor și maximelor definite de o familie de ecuații logistice date cu valoarea K-m/r crescută poate fi, de asemenea, în multe cazuri, folosită pentru a descrie multiplicarea anumitor procedee tehnice. Aici, de asemenea, se consideră că descoperirea sau introducerea unei noi tehnici sau a unui nou produs distruge un echilibru social, tehnologic sau economic. Acest echilibru ar corespunde punctului maxim atins de curba de creștere a tehnicilor sau produselor cu care inovația urmează să intre în competiție și care joacă un rol similar în situația descrisă de ecuație [162]. Astfel, ca să alegem doar un singur exemplu din multiplele exemple disponibile, nu numai că răspîndirea vapoarelor a dus la dispariția corăbiilor, dar prin reducerea costului transportului și mărirea vitezei, a condus la o creștere

---

[161] Deneubourg J. L. și Allen P. M., „Modèles théorique de la division du travail dans les sociétés d'insectes", *Académie Royale de Belgique, Bulletin de la Classe des Sciences*, vol. LXII, 1976, p. 416—429 și Allen P. M., "Evolution in and Ecosystem with Limited Resources", *loc. cit.*, p. 408—415.

[162] Montroll E. W., "Social Dynamics and the Quantifying of Social Forces", în *Proceedings of the National Academy of Science USA*, vol. 75, nr. 10, 1978, p. 4633—4637.

a cererii de transport pe mare („K") și, prin urmare, la o creștere a numărului de vapoare. Avem aici în mod evident o situație foarte simplă, după toate probabilitățile, guvernată de o logică economică pură. Într-adevăr, în acest caz inovația satisface, deși într-o manieră diferită, doar o necesitate preexistentă care va rămîne neschimbată. Totuși, în ecologie, ca și în societățile umane, multe inovații au succes fără să existe o „nișă" preexistentă. Ele transformă mediul în care apar, și, pe măsură ce se răspîndesc, creează condițiile necesare pentru a se înmulți, adică propria lor „nișă". În cazul situațiilor sociale, în special, crearea „cererii" și chiar a „necesității" care satisface această cerere apare adesea corelată cu procesul de producere a bunurilor și tehnicilor descrise ca satisfăcînd această cerere.

5. Feed-back-uri evolutive

Un prim pas în considerarea acestei dimensiuni a procesului evolutiv se poate face transformînd „capacitatea portantă" a sistemului într-o funcție a modului în care aceasta este folosită în loc de a fi luată ca atare.

În acest context se pot reprezenta unele dimensiuni suplimentare ale activităților economice, și, mai ales, „efectele de multiplicare", prin care se pot reprezenta proprietățile autoacceleratoare ale acestei activități, diferențierea spațială dintre centrele cu nivele diferite de activitate spre care competiția este obligată să ne conducă.

Geografii au construit deja un model care leagă aceste procese. Acesta corespunde modelului geografului Christaller pentru distribuția spațială optimă a centrelor de activitate economică. Centrele importante s-ar afla la intersecția unei rețele hexagonale, fiecare fiind înconjurat de un inel de orașe, de rang imediat inferior ca mărime, fiecare fiind ..... etc. Evident, în cazul de față, o astfel de distribuție ierarhică regulată nu este deloc frecventă: factorii istorici, politici și geogra-

fici abundă pentru a rupe simetria spațială. Mai mult. Chiar dacă am exclude toate sursele importante ale dezvoltării asimetrice și am porni de la un spațiu geografic și economic omogen, modelarea procesului de *geneză* a unei distribuții cum e cea definită de Christaller stabilește că modul de optimizare static pe care el îl descrie constituie un rezultat posibil dar destul de improbabil al procesului.

Modelul în cauză [163] reunește numai un set minim de variabile sugerat de un raționament ca acela folosit de către Christaller. Se alcătuiește un set de ecuații care extind ecuațiile logistice pornind de la supoziția fundamentală conform căreia populațiile tind să migreze ca o funcție a nivelurilor locale de activitate economică, care definesc un fel de „capacitate portantă" locală care se reduce aici la o capacitate de „întrebuințare". Numai că populația locală este de asemenea susceptibilă a fi un consumator potențial al bunurilor produse local. Avem de fapt un feed-back pozitiv dublu, denumit „multiplicator urban", pentru o dezvoltare locală: atît concentrația de populație cît și „scara" și economiile „infrastructurilor comune" datorate nivelului de activitate deja atins accelerează creșterea acestei activități. Fiecare nivel local de activitate este, de asemenea, determinat de competiția cu alte centre de activitate similare localizate în alte puncte. Vînzarea bunurilor produse sau a serviciilor din jurul fiecărui centru depinde, prin prețul lor, de costul transportului către consumatori și de mărimea „întreprinderii" (economia de scară). Creșterea unei intreprinderi de acest fel depinde de cererea pe care această creștere încearcă s-o satisfacă și pentru care între-

---

[163] Allen P. M. și Sanglier M., "Dynamic Model of Urban Growth", în *Journal for Social and Biological Structures*, vol. 1, 1978, p. 265—280 și "Urban evolution, selforganization and Decisionmaking", în *Environment and Planing*, A, vol. 13, 1981, p. 167—183.

prinderea intră în concurență. Populația și industriile producătoare sau serviciile au astfel creșterile lor respective legate de feed-back-uri puternice și de nelinearități.

Modelul pornește de la o condiție inițială ipotetică, unde activitatea „nivelului 1" (rurală) există în diferite puncte; ea ne permite atunci să urmărim istoria lansărilor de activități succesive corespunzătoare nivelurilor „superioare" în ierarhia lui Christaller, adică, implicînd un export cu o sferă de cuprindere mai mare. Chiar dacă starea inițială este destul de omogenă, modelul ne demonstrează că jocul complet al factorilor de șansă — necontrolați de model — cum sînt locul și timpul diferitelor poziții ale unor întreprinderi diferite, este suficient pentru a produce ruperile de simetrie: apariția de zone foarte concentrate de activitate în timp ce alte locuri sînt depopulate și abandonate din punct de vedere economic. Diferitele simulări ale comportamentului ne arată creșterea și descompunerea, capturarea și dominația, perioadele favorabile dezvoltărilor alternative urmate de o solidificare a structurilor de dominație existente.

În timp ce distribuția simetrică a lui Christaller ignoră istoria, acest scenariu o ia în considerare, cel puțin în sens minim, sub forma unei interacțiuni între „legile", în acest caz de natură pur economică, și „întîmplarea" care guvernează secvența de lansări. Și acest lucru ne duce deja la luarea în considerare a unei multitudini de istorii posibile.

6. Modelizările complexității

În ciuda simplității sale, modelul pe care tocmai l-am prezentat reușește să ne demonstreze unele proprietăți ale evoluției sistemelor complexe, și, în special, dificultatea de „guvernare" a dezvoltării, determinată de multitudinea de participanți care interacționează. Fiecare acțiune individuală sau fiecare intervenție locală are un aspect colectiv care poate să apară în categorii destul de nepre-

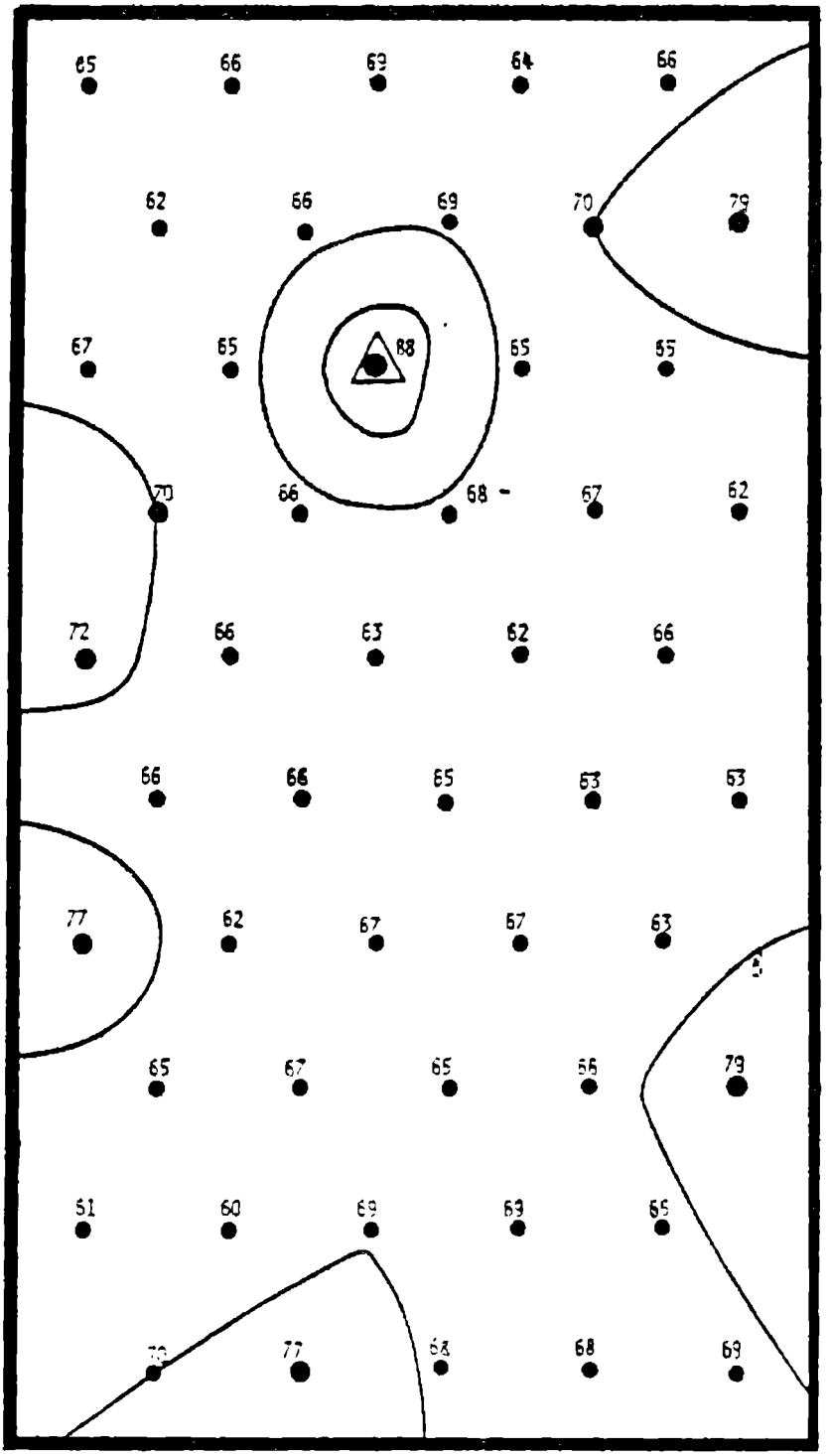

FIG. 31 A, B, C, D, E. O istorie posibilă de „urbanizare" ● are doar funcția 1, ● are funcțiile 1 și 2; ▲ are funcțiile 1,2 și 3; ▲ sînt centrele cele mai mari cu funcțiile 1, 2, 3, 4. La 1 = 0 (nu este reprezentat), toate punctele au o „populație

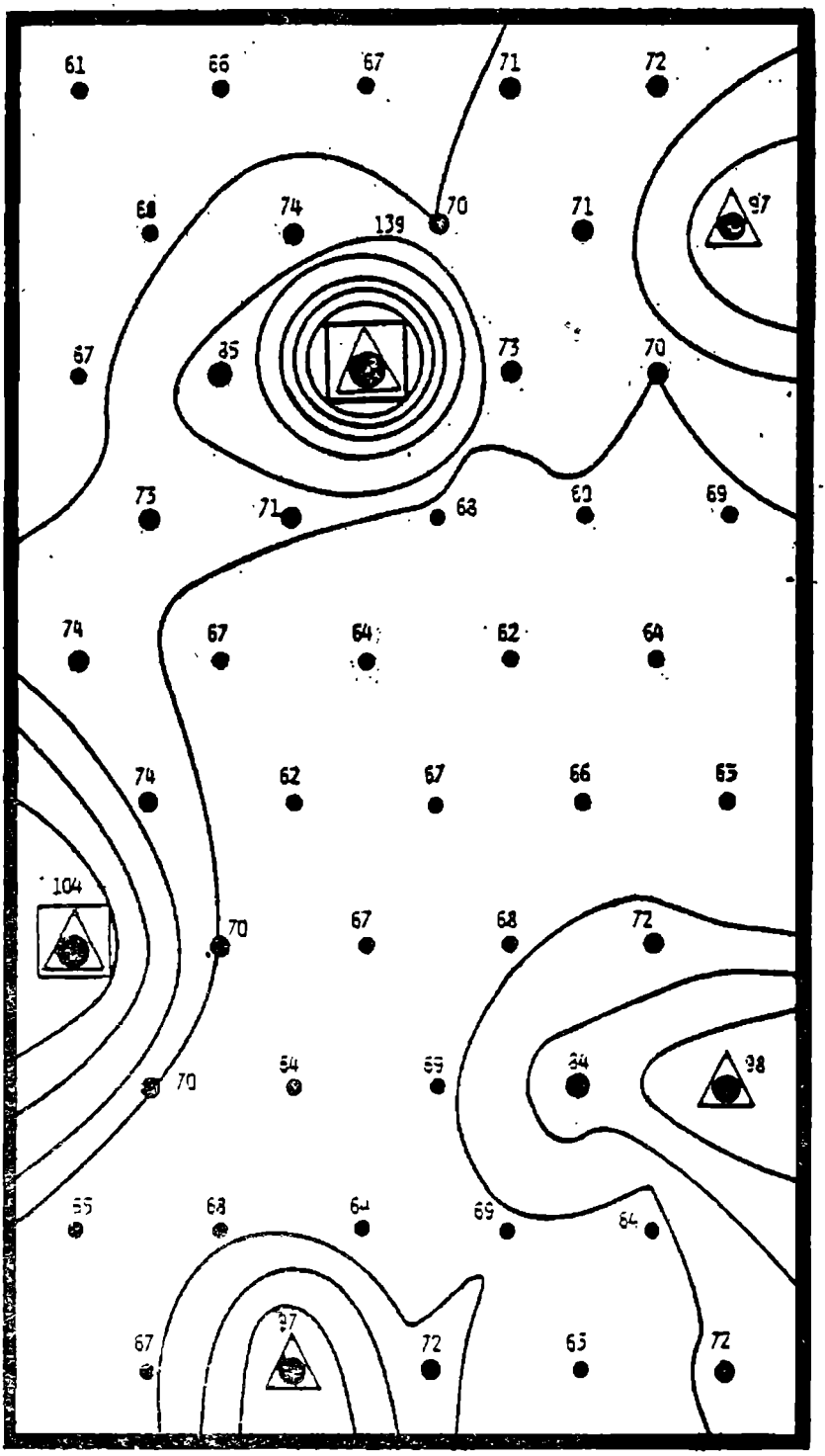

FIG. B.

de 67 de unități. La C, cel mai mare centru se îndreaptă spre maxim (152 unități de populație); acest lucru este urmat de o „dispersare urbană" cu crearea de orașe satelit; acest

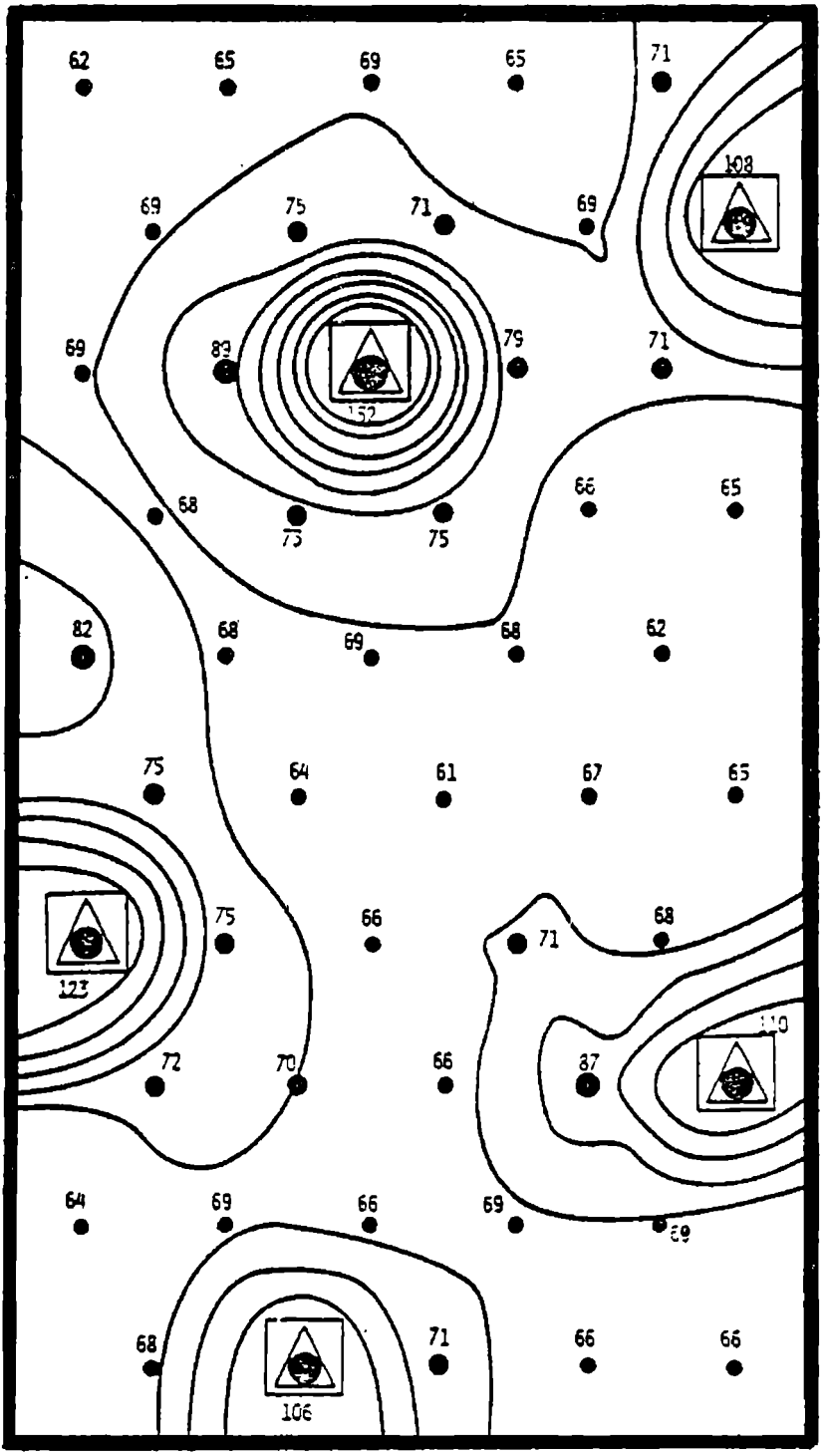

FIG. C.

lucru apare în jurul celui de-al doilea centru important (de la Allen P. şi Sanglier M., în *Geographical Analysis*, vol. 13, 1981, p. 149—164).

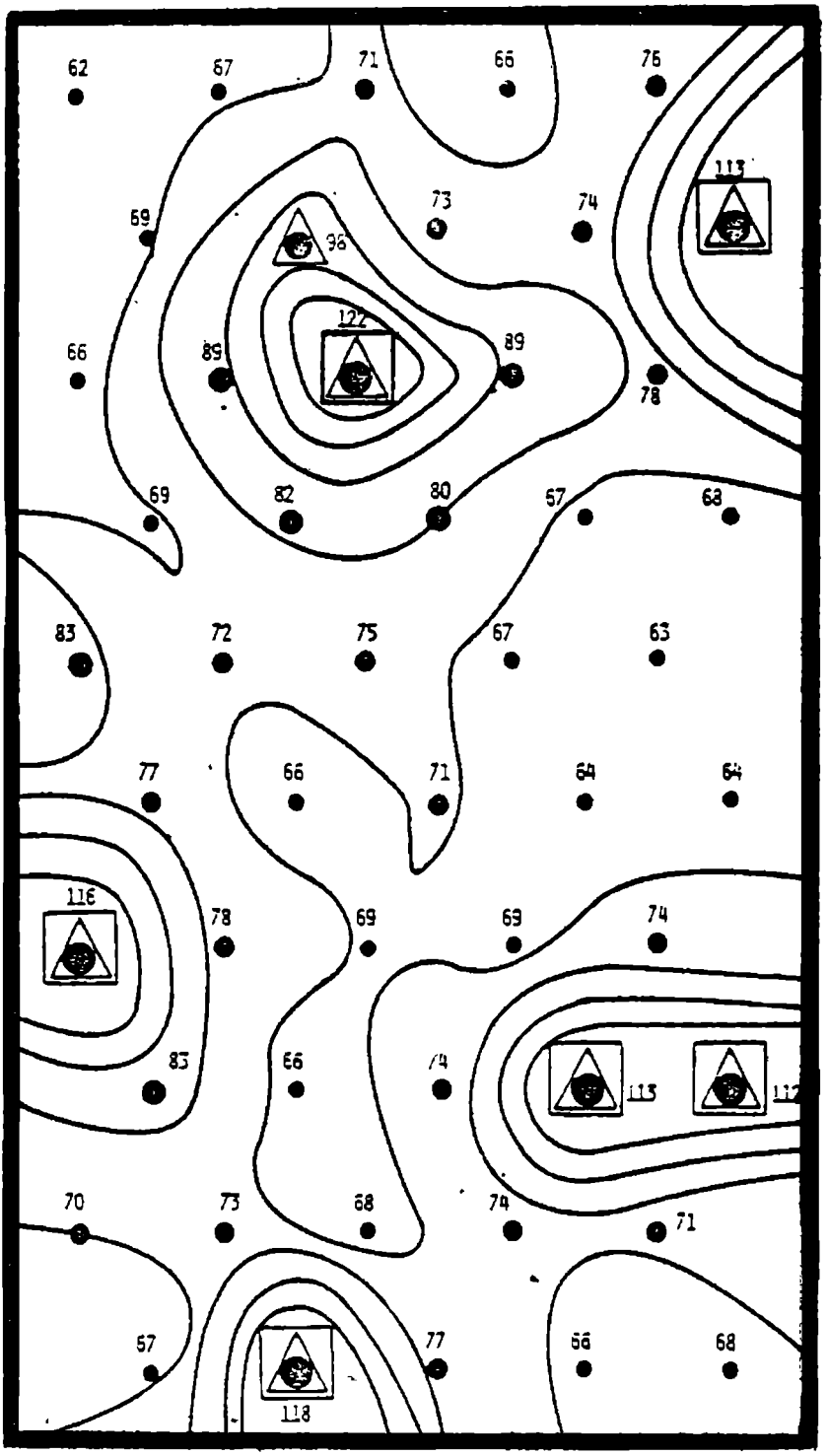
62
67
71
66
75
69
73
74
113
96
122
66
89
89
78
69
82
80
57
68
83
72
75
67
63
77
66
71
64
64
116
78
69
69
74
83
66
74
113
117
70
73
68
74
71
67
77
66
68
118

FIG. D,

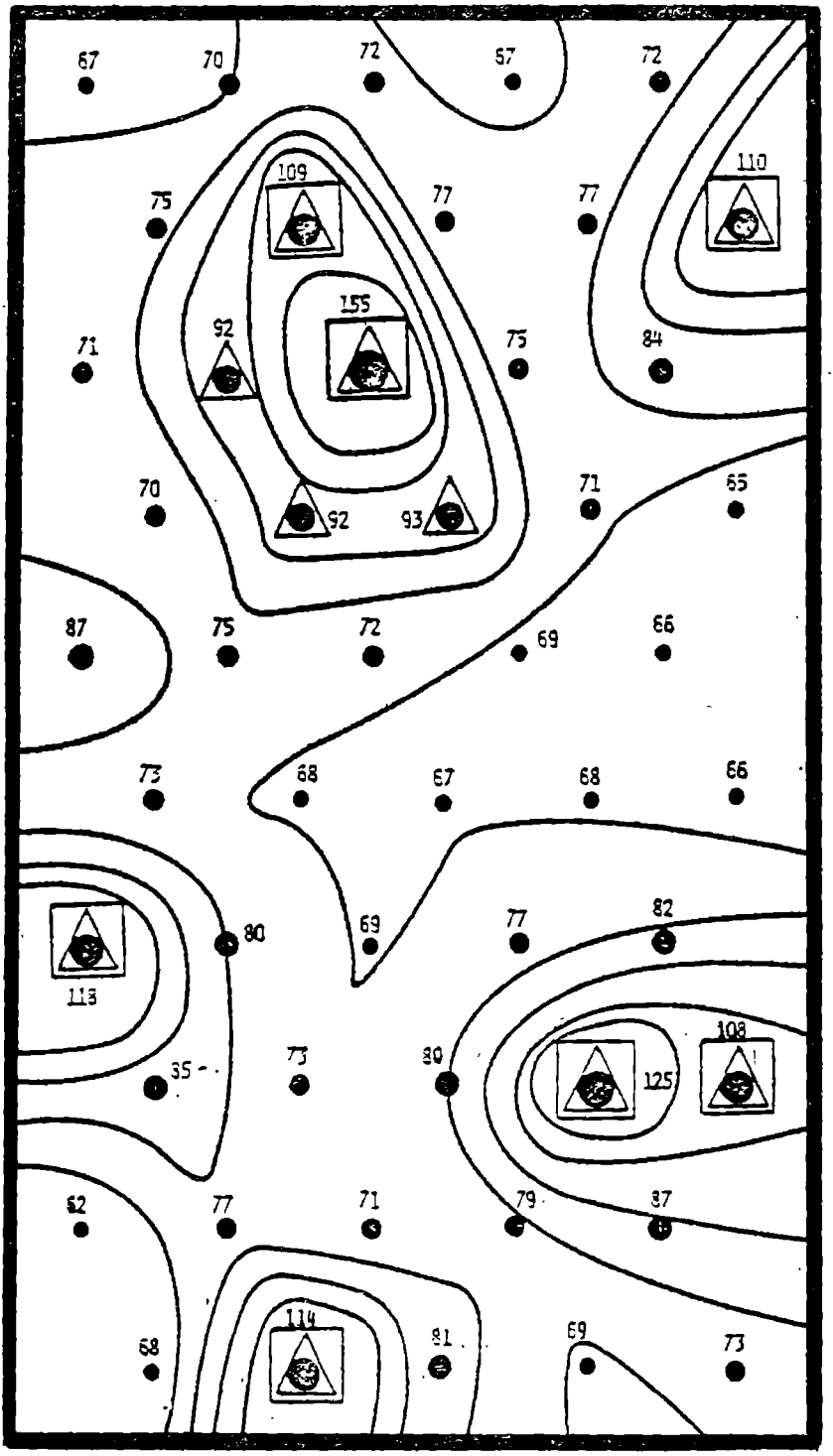
67
70
72
67
72
109
110
75
77
77
155
92
71
75
84
70
92
93
71
65
87
75
72
69
66
73
68
67
68
66
80
69
77
82
113
108
35
73
80
125
82
77
71
79
87
114
68
81
69
73

FIG. E.

vizibile de schimbări globale. După cum susținea biologul Conrad Waddington, cunoaștem foarte puțin despre felul în care un sistem complex este susceptibil să răspundă unei schimbări date, noi simțindu-le ca „antiintuitive". Acest ultim termen a fost introdus de echipa MIT pentru a exprima chiar această frustrare: „al naibii lucru nu face tocmai ce ar trebui să facă!" Să luăm exemplul clasic pe care îl dă Waddington: un program de sistematizare a periferiei are ca rezultat o situație mai proastă decît cea anterioară: noile clădiri atrag un număr mare de oameni în zonă, dar dacă nu sînt suficiente slujbe pentru ei, aceștia rămîn săraci iar locuințele sînt și mai aglomerate[164]. Sîntem deprinși să gîndim în raport cu cauzalitatea lineară, avem nevoie de „instrumente noi de gîndire" și unul din interesele majore ale modelelor este tocmai de a descoperi aceste instrumente și de a învăța modul lor de folosire.

După cum am mai precizat, diferitele moduri de abordare a ecuațiilor logistice sînt mult mai relevante atunci cînd dimensiunea crucială care trebuie studiată constă în creșterea unei populații, fie ea de animale, activități sau obiceiuri. Ceea ce se propune este ca fiecare membru al unei populații date să poată fi luat ca echivalent în locul oricăruia dintre ceilalți. Dar această echivalență generală poate fi ea însăși văzută nu ca un fapt general simplu ci ca rezultat, referitor la strategie. Cu alte cuvinte, alegerea modelului pe care-l credem relevant pentru o populație dată este determinată de ideea pe care o avem despre presiunile și constrîngerile care influențează evoluția acestei populații.

Vom prezenta aici, de exemplu, distincția pe care ecologii au propus-o între strategiile *K* și *r*. *K* și *r* se referă la parametrii într-o ecuație logistică. Această distincție este doar una relativă, dar deosebit de clară atunci cînd caracterizează divergența rezultată dintr-o interacțiune între două

[164] Waddington C., *Tools for Thought*, Frogmore, St. Albans, Paladin, p. 228.

populații, în special interacțiunea pradă-răpitor. Din acest punct de vedere evoluția tipică pentru o populație victimă va fi creșterea vitezei de reproducere *r*. Răpitorul va evolua către niște căi mai eficiente de capturare a prăzii, respectiv către o ameliorare a lui *K*. Dar chiar această ameliorare, definită în cadrul logistic, este obligată să aibă consecințe ce duc la ieșirea din cadrul problematicii definite de ecuația logistică.

După cum remarca și Stephan J. Gould [165], o strategie *K* presupune ca indivizii să devină din ce în ce mai apți să învețe din experiență și să acumuleze date în memorie, adică indivizi mai complecși cu o perioadă mai lungă de maturizare și ucenicie. Acest lucru, la rîndul său, presupune atît indivizi mai „prețioși", adică fiecare să reprezinte o investiție energetică și biologică mai mare, cît și caracterizați de o perioadă de vulnerabilitate mai mare. Dezvoltarea legăturilor „sociale" și „de familie" poate apărea atunci ca o replică logică a strategiei *K*. Pornind din acest punct, alți parametri devin din ce în ce mai importanți pe lîngă numărul total de indivizi ai populației. Avem aici un exemplu special de ceea ce face ca modelarea să fie o sarcină atît de riscantă. În cadrul sistemelor complexe, atît definirea entităților cît și a interacțiunii dintre ele poate fi modificată de evoluție. Nu numai fiecare stare a sistemului ci însăși definiția sistemului cum este ea modelată, este în general instabilă sau cel puțin metastabilă.

Ajungem aici la problemele unde metodologia nu poate fi separată de întrebarea naturii despre obiectul investigat. Nu putem pune aceeași întrebare despre populația mușteloor care se înmulțesc cu milioanele și mor cu milioanele fără ca în mod aparent să învețe sau să-și lărgească experiența, și despre o populație de primate unde fiecare individ este un amestec de experiențe și tradiții ale populației în care trăiește, ale propriei lui experiențe sau a trecutului biologic al speciei din care face parte.

---

[165] *Ontogeny and Phylogeny*, op. cit.

De asemenea, găsim chiar în cadrul antropologiei selecții de bază între modurile de abordare a fenomenelor colective. De exemplu, se știe că teoriile antropologiei structurale referitoare la structurile elementare ale înrudirii și apropierea lor de mituri, ale căror transformări au fost adesea comparate cu creșterea cristalină, au folosit mai întîi instrumentele logicii și ale matematicilor finite, unde elementele discrete se numără și se combină. Aceasta contrastează cu abordările care analizează evoluția în funcție de procesele care implică populații numeroase și haotice. Ne ocupăm aici de cele două perspective diferite și de două tipuri de modele pe care Lévi-Strauss le definește ca „mecanice" și respectiv „statistice". În modelul mecanic „elementele au aceeași scară ca și fenomenele", iar comportamentul individual se bazează pe prescripții referitoare la organizarea globală a societății. Antropologul explică logica acestui comportament. Sociologul, pe de altă parte, lucrează cu modele statistice pentru a defini valorile medii și pragurile [166].

O societate definită în întregime conform modelului mecanic ar corespunde ideii lui Aristotel de ierarhie naturală și ordine. Fiecare funcționar își îndeplinește îndatoririle pentru care a fost numit. La fiecare nivel aceste îndatoriri se referă la organizarea societății ca un întreg. Regele dă ordine arhitectului, arhitectul le dă antreprenorului și acesta le dă muncitorilor. Peste tot este prezentă o activitate de concepție. Dimpotrivă, termitele și alte insecte sociale par să se apropie de modelul „statistic". Cum am văzut, pare să nu existe nici o concepție care să realizeze cuibul termitelor. Putem întreba chiar dacă există o „conștiință" a sistemului ca întreg. Interacțiunile dintre indivizi favorizează anumite tipuri de comportament colectiv în unele cazuri, dar nici una dintre aceste interacțiuni nu se referă la orice fel de idee a unei

---

[166] «Méthodes et enseignement» în *Anthropologie structurale*, Paris, Plon, p. 311–317.

îndatoriri globale; ele sînt toate pur locale. Această descriere implică în mod necesar valorile medii și reintroduce problema stabilității și a bifurcațiilor.

Care dintre evenimente, care dintre inovații vor regresa și care sînt susceptibile să afecteze întregul sistem? Care sînt situațiile de alegere și care sînt regimurile de stabilitate? Și, deoarece mărimea, sau densitatea sistemului, poate juca rolul unui parametru de bifurcație, cum ar putea duce o creștere pur cantitativă la selecții noi calitative? Aceasta corespunde unui program într-adevăr ambițios. Ca și în cazul strategiilor r și k, ele au ca urmare asocierea întrebărilor legate de selecția modelului „bun" pentru comportamentul social, și de aceea a istoriei de-a lungul căreia și-a căpătat existența și semnificația acest comportament. Cum poate deveni o evoluție a populației mai „mecanică"? Această întrebare se poate compara cu cele pe care le-am întîlnit deja în biologie: în ce fel, de exemplu, favorizează selecția informațiilor genetice, care guvernează vitezele și regulamentul reacțiilor metabolice, anumite căi în așa măsură încît dezvoltarea să pară a fi deliberată sau să apară ca traducerea unui „mesaj"?

Credem că modelele inspirate în mod fizic ale „ordinii prin fluctuații" ne ajută să ne familiarizăm cu acest fel de întrebare și chiar permit, în anumite situații, să dăm o formulare mai precisă interacțiunii complexe dintre aspectele individuale și cele colective ale comportamentelor. Din punctul de vedere al fizicianului, acest lucru presupune o distincție între stările sistemului în care întreaga inițiativă individuală este calificată ca nesemnificativă, și bifurcațiile în care un individ, o idee sau o comportare nouă pot tulbura starea globală. Chiar în aceste porțiuni, amplificarea, evident, nu are loc chiar la orice individ, idee sau comportament, ci numai la acelea care sînt „periculoase", adică acelea care pot exploata în avantajul lor relațiile nelineare care garantează stabilitatea regimului precedent. Astfel ajungem la concluzia că aceleași nelinearități pot pro-

duce o origine nouă din haosul proceselor elementare și totuși, în împrejurări diferite, distruge această ordine, instalînd o nouă coerență dincolo de o altă bifurcație.

Modelele „ordinii prin fluctuații" ne introduc într-o lume instabilă, unde cauze minore pot avea efecte majore, dar nu ne descriu o lume arbitrară. Dimpotrivă, motivele amplificării unui eveniment minor constituie o problemă legitimă a investigației raționale. Fluctuația nu produce transformarea activității sistemului. În mod evident, luînd în considerare imaginea inspirată de citatul lui Maxwell despre instabilități, chibritul este răspunzător de incendiul din pădure, dar a ne referi la chibrit nu ar fi suficient pentru a înțelege incendiul, dacă nu ne aflăm în cursul unei investigații criminale, ar trebui să înțelegem procesul de ardere, condițiile lui etc. Și mai mult decît atît, faptul că o fluctuație scapă prin definiție controlului nu înseamnă că nu putem atinge o inteligibilitate perfectă a motivelor instabilității pe care le divulgă amplificarea.

7. O lume deschisă

În fața complexității întrebărilor pe care le-am ridicat, putem evita cu greu să vedem în multiplele generalizări în funcție de care au fost interpretate tradițional evoluțiile biologice sau sociale un caz mai degrabă nefericit de transfer de concepte și metode din fizică [167]. Spunem nefericit pentru că acesta a ignorat cît de restrictiv era domeniul fizicii, în care aceste concepții și metode erau valabile, și cît de nejustificată era analogia astfel stabilită între acest domeniu și domeniile sociale și economice.

Este, în primul rînd, cazul optimizării. Conducerea societății umane, ca și acțiunea presiunilor selective, tinde în mod evident, uneori, să opti-

[167] Vezi, de exemplu, Russet C. E., *The Concept of Equilibrium in American Social Thought*, Yale University Press, New Haven, 1966.

mizeze unele aspecte ale comportamentelor sau ale modurilor de legătură. Dar să consideri optimizarea ca pe un fir al Ariadnei pentru a înțelege felul în care supraviețuiesc populațiile și indivizii înseamnă să-ți asumi riscul de a confunda cauza cu efectul.

Pentru a lua doar un exemplu din sfera evolutivă să evocăm cazul hienelor pătate, femele ale căror organe genitale nu se disting de cele masculine. Era oare această trăsătură hermafrodită o adaptare reușită la modul de viață al hienei, și astfel un răspuns direct la o presiune selectivă specială? Este tocmai ceea ce specialistul în materie, Hans Kruuk, postulează chiar de la început cînd scrie: „Este imposibil să te gîndești la orice alt scop pentru această caracteristică feminină specială decît la folosirea ei la ceremonia de întîlnire ... Ar putea fi, atunci, faptul că un individ cu o structură familiară, dar relativ complexă și remarcabilă, fiind adulmecat în timpul întîlnirii, să aibă un avantaj asupra celorlalți; structura ar facilita adesea restabilirea legăturilor sociale menținînd partenerii împreună pentru o perioadă de întîlnire mai mare. Acesta ar putea fi avantajul selectiv care a produs evoluția structurii genitale a femelelor și a puilor [168]. Această construcție retrospectivă a unui avantaj selectiv, identificat simultan ca o cauză posibilă a apariției trăsăturii ce trebuie explicată, este combătută de către S. J. Gould. El o citează de fapt ca pe un caz tipic de seducție înșelătoare a ceea ce el numește a fi „programul de adaptație", adică un program bazat pe identificarea procesului evolutiv cu procesul de optimizare. Pentru Gould, organele genitale ale femelei hienei pătate sînt, foarte posibil, simplul rezultat al trecerii de către această specie a unui prag critic la nivelul hormonilor androgeni. Știm că acest nivel este deja destul de ridicat în alte specii de hiene și știm, de asemenea, că androgenele injectate embrionului femel sînt suficiente

[168] Gould S. J., "Hyena Myths and Realities", în *Natural History*, vol. 90, nr. 2, 1981, p. 16—24, citat p. 18.

pentru a stimula organele lor genitale să ia „calea dezvoltării masculine". Astfel Gould ne prezintă un alt scenariu posibil: „Nu mă îndoiesc că particularitatea fundamentală a organizării sociale a hienelor — dimensiunea mai mare și dominanța femelelor — este o adaptare la ceva. Calea cea mai simplă spre o astfel de adaptare ar fi o creștere marcantă în producerea de hormoni androgeni de către femele (aceștia există în cantități mici la femelele mamiferelor). Cotele ridicate de androgeni ar determina efecte secundare complexe cum ar fi consecințele automatice — printre ele, un clitoris în formă de penis, și un scrot fals ... Odată prezente li s-ar putea găsi o întrebuințare — ca la ceremonia de întîlnire. Dar folosirea lor curentă nu presupune că acestea au fost concepute în scopul în care sînt folosite acum" [169]. Și Gould conchide: „Nu trăim într-o lume perfecționată în care selecția naturală să examineze minuțios și riguros toate structurile organice și apoi să le modeleze pentru utilitate optimă. Organismele moștenesc o formă a corpului și un stil de dezvoltare embrionică; acestea impun anumite constrîngeri asupra schimbării și adaptării viitoare. În multe cazuri, direcția pe care o ia evoluția este mai mult un rezultat al tiparelor moștenite decît al exigențelor mediului. Aceste moșteniri constrîng, dar în același timp furnizează ocazii favorabile. O schimbare potențială genetică mică — o creștere a nivelului de androgen în acest caz — determină o mulțime de consecințe neadaptative complexe. Flexibilitatea primordială a evoluției poate lua naștere din biprodusele neadaptative care permit adesea organismelor să pornească în direcții noi și neprevizibile" [170].

„Programul de adaptație", definit de Gould și Lewontin ca fiind „panglosian cu adevărat" [171],

---

[169] Idem, p. 24.

[170] Idem, p. 24.

[171] Gould S. J. și Lewontin R., "The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: a Critique of the Adoptationist Programme", în *Proceedings of the Royal Society*, London, B, vol. 205, 1979, p. 581—598.

atîta timp cît defineşte fiecare trăsătură sau comportament ca pe compromisul „cel mai bun posibil" între cererile de concurenţă, corespunde într-un fel modelului lui Christaller pentru distribuţia urbană. În fiecare caz, se ignoră istoria atîta timp cît soluţia optimă se deduce atemporal dintr-o situaţie dată. Am observat deja (capitolul V), contextul teoretic în care programul de adaptare îşi găseşte justificarea: dacă toate inovaţiile fenotipice urmează să fie văzute tot atît de arbitrar ca şi mutaţiile genetice, singura forţă directoare inteligibilă care a rămas ar fi presiunea selectivă. Dar dacă se recunoaşte importanţa constrîngerilor intrinsece care se ivesc din integrarea structurală, forţele „externe" mediului trebuie văzute ca fiind echilibrate cu „forţele interne" reprezentînd constrîngerile de ereditate şi dezvoltare. După cum concluziona Gould, „noile specii nu moştenesc forma adultă de la strămoşii lor. Ele primesc un sistem genetic complex şi un set de căi de dezvoltare pentru a trece produsele genetice prin embriologie şi a le transforma mai tîrziu în organisme adulte. Aceste căi constrîng într-adevăr expresia variaţiei genetice; ele o canalizează de-a lungul anumitor linii. Selecţia naturală poate alege orice punct pe parcursul liniei, dar nu ar putea da jos o specie de pe linie — pentru că selecţia poate acţiona doar asupra variaţiei care i-a fost prezentată. În acest sens, constrîngerile de variaţie pot direcţiona căile de schimbare evolutivă tot timpul cît selecţia care acţionează în rolul ei darvinist este o forţă creatoare" [172].

Modelele de optimizare ignoră astfel atît posibilitatea de transformări radicale — adică transformările care schimbă însăşi definiţia problemei şi, prin urmare, felul soluţiei care trebuie căutată — cît şi constrîngerile inerţiale care ar putea în final să blocheze într-un mod dezastruos un sistem de funcţionare. Întocmai ca doctrinele liberale cum ar fi mîna invizibilă a lui Adam Smith

---

[172] Gould S. J., "A Most Chilling Statement", în *Natural History*, vol. 90, nr. 4, 1981, p. 14—21, citat p. 19—20.

sau altă definiţie a progresului în funcţie de criteriile de maximalizare sau minimalizare, aceasta ne dă o reprezentare liniştitoare a naturii ca un calculator atotputernic şi raţional, şi a uneiistorii asemenea unei istorii coerente caracterizată de un fel de progres global. A restabili inerţia şi posibilitatea de surpriză a producţiilor neanticipate, adică restabilirea caracterului deschis al istoriei, înseamnă, de asemenea, a accepta nesiguranţa sa fundamentală. În acest context putem folosi drept simbol caracterul aparent accidental al marii dispariţii cretacice care a netezit calea dezvoltării mamiferelor, apoi al unui mic grup de creaturi de felul şobolanilor [173]. Acest simbol ar trebui să ne avertizeze în privinţa reprezentărilor prea triumfale ale istoriei ca o creştere progresivă, oricît de complexă sau de perfectă ar fi această creştere.

Pînă acum am trecut printr-un domeniu imens, de la fizică la istorie. Am neglijat multe subiecte despre care ar fi trebuit să vorbim, de exemplu în fizică, flacăra, plasma, laserul sînt de asemenea cazuri de fenomene cooperative. De fapt, acum, cînd s-a recunoscut interesul faţă de concepte ca instabilitatea, fenomenele cooperative, pragul, bifurcaţiile, toate legate de timp, avem o lume cu adevărat nouă pe care trebuie să învăţăm să o descriem. Trebuie să înfruntăm acum proliferarea unei naturi bogate în diversitate şi produse novatoare. În istoria ideilor se întîmplă adesea ca fenomene separate, fiecare fiind considerate de cele mai multe ori ca destul de paradoxale să fie puse împreună într-un cadru conceptual nou şi să deschidă drumul către un nou peisaj intelectual. Dar evoluţia conceptuală pe care am prezentat-o poate admite şi alte interpretări. Poate fi integrată într-o istorie mai largă, aceea a redescoperirii progresive a timpului.

Am văzut dimensiunile timpului încorporat progresiv în fizică, în timp ce ambiţiile de omniştiinţă, implicate de conceptele newtoniene,

---

[173] Gould S. J., "The Belt of an Asteroid", în *Natural History*, vol. 89, nr. 1, 1980, p. 26—33.

au trebuit să fie respinse. Am subliniat semnificația pozitivă a acestei respingeri: nu renunțăm la speranțele de înțelegere a lumii; dimpotrivă, trecerea dincolo de vechea opoziție dintre determinism și arbitrar permite o nouă multitudine de întrebări, oferă posibilitatea de găsire a inteligibilității acolo unde înainte întîmplarea și necesitatea au țesut prea des povești fără sens. Acest capitol a debutat de parcă treceam de la fizică, prin biologie și ecologie, spre societățile omenești. Dar mișcarea inversă poate fi de asemenea descifrată. Într-adevăr, interesul în istorie s-a concentrat la început mai ales asupra societăților omenești, apoi au fost investigate dimensiunile temporale ale vieții și ale geologiei.

Iar încorporarea timpului în schemele conceptuale ale fizicii apare doar în actul final al unei reintroduceri progresive a istoriei în natură și în studiile umane.

Destul de curios, de fiecare dată, o trăsătură decisivă a acestui proces de „istoricizare" a constat în descoperirea unei eterogenități temporale. Încă din timpul Renașterii, societățile noastre au venit în contact sistematic cu populații diferite pe care le vedem corespunzînd diferitelor stadii de dezvoltare; biologia și geologia secolului al XIX-lea au învățat să descopere și să clasifice fosilele și să recunoască în peisaje memoria trecutului cu care coexistăm; în final, fizica secolului al XX-lea a descoperit un fel de fosilă, radiația reziduală a corpului negru care ne vorbește despre începuturile universului. Astăzi știm că trăim într-o lume unde coexistă peste tot diferite timpuri cuplate și fosilele multor trecuturi. Cunoașterea acestei lumi trebuie să treacă prin explorarea logicii respective a acestor timpuri și istorii și în acest cadru trebuie studiată transformarea fizicii pe care-o descriem.

Trebuie să ridicăm acum o altă problemă. Am afirmat mai înainte că viața a început să apară tot atît de „natural" ca și căderea corpurilor. Ce legătură are procesul natural de autoorganizare

cu un corp în cădere? Ce legătură poate fi între dinamică, știința forței și traiectoriilor, și știința sistemelor complexe și a devenirii, știința proceselor vii și a devenirii naturale la care acestea participă? La sfîrșitul secolului al XIX-lea, ireversibilitatea era asociată cu fenomenele de frecare, vîscozitate și căldură; ea se afla la originea pierderilor de energie și de randament. Se putea menține ficțiunea că era vorba doar de un fenomen secundar legat de stîngăcia noastră, de mașinile noastre nesofisticate, și că natura era fundamental reversibilă, așa cum pretindea dinamica. Această concepție a devenit de nesusținut, deoarece acum știm că procesele ireversibile joacă un rol constructiv.

Prin urmare, nu mai putem să ocolim întrebarea: care este relația dintre această nouă știință a sistemelor complexe și știința comportamentului simplu, elementar? Care este legătura dintre aceste puncte de vedere complet opuse, privind natura? Două științe, două adevăruri pentru o singură lume. Cum e posibil așa ceva?

Într-un anumit sens, ne-am întors spre începuturile științei moderne, la vremea cînd Newton observa devenirea materiei în creuzet și analiza mișcarea lumii. Era imposibil pentru prima sinteză, sinteza newtoniană, să fie completă; forțele de interacțiune descrise de dinamică nu pot explica comportamentul complex și ireversibil al materiei. Ca și în timpul lui Newton, două științe se află față în față — știința gravitației, care descrie o natură atemporală și legică și știința focului, adică chimia. „Ignis mutat res". Potrivit acestei vechi maxime, structurile chimice sînt creații ale focului, rezultatul devenirii ireversibile. Cum putem face o punte între a fi și a deveni — două concepte în conflict deschis și necesare încă amîndouă pentru a obține o descriere coerentă a acestei lumi stranii în care ne aflăm?

CARTEA A TREIA

DE LA FIINȚĂ LA DEVENIRE

Capitolul VII

Ciocnirea doctrinelor

1. Descoperirea lui Boltzmann

Whitehead scria: „*A clash of doctrines is not a disaster, it is an oportunity*“ [174]. Dacă este adevărat, istoria științelor a cunoscut puține ocazii atît de promițătoare, căci acum ciocnirea apare deosebit de puternică: se înfruntă două lumi care, după cît se pare, nu au nimic comun.

Cum să caracterizăm universul descris de dinamica clasică? Este un univers în care, din punctul de vedere al descrierii fundamentale, toate transformările sînt reductibile la mișcarea materiei în spațiu și această mișcare poate fi descrisă în termeni de traiectorii. Așadar, în jurul conceptului de traiectorie se concentrează adevărul dinamic al lumii.

---

[174] „O ciocnire de doctrine nu este un dezastru, este o șansă ce trebuie folosită“, Whitehead A. N., *Science and the Modern World*, p. 186.

Pentru a defini o traiectorie trebuie să cunoaștem simultan două tipuri de date diferite: legea generală a traiectoriei, legea care determină trecerea sistemului între două stări succesive, oricare ar fi ele, și descrierea completă a stării instantanee a sistemului, oricare ar fi aceasta. Plecînd de la această stare, aplicarea legii va permite traiectoriei să se desfășoare din stare în stare, spre trecut ca și spre viitor. Legea dinamică este o lege *reversibilă*, ea descrie la fel de bine trecerea de la o stare spre starea imediat precedentă ca și spre starea imediat următoare. În dinamică, viitorul și trecutul joacă exact același rol — adică nici un rol. Definirea unei stări instantanee în funcție de pozițiile particulelor care o constituie și de vitezele acestor particule conține atît trecutul cît și viitorul sistemului; fiecare stare ar putea fi o stare inițială sau, la fel de bine, starea care rezultă după o lungă evoluție. După cum spunea Bergson, în fiecare clipă totul este dat, schimbarea nu este decît desfășurarea unei suite de stări fundamental echivalente.

Vom descoperi mai departe punctul slab al acestei concepții, surprinzătoarea constatare că, în unele cazuri ideea de determinare a condițiilor inițiale ale traiectoriei nu mai este compatibilă cu implicațiile legii dinamice. Dar această surpriză este de dată recentă. Pînă acum idealizarea newtoniană, ideea unui univers static descris în funcție de traiectoriile deterministe părea *impusă* de către dinamică și era legată de ideea unui *nivel fundamental de descriere*, astfel că transformările naturale oricît de complexe ar fi, odată aduse la acest nivel apar ca simple. Conform acestei concepții clasice se putea afirma, prin urmare, că procesele complexe nu sînt intrinsec diferite de traiectoriile simple, precum traiectoriile planetare. Fără îndoială, numărul enorm de interacțiuni și de grade de libertate ale sistemului complex poate să producă dificultăți practice de calcul, dar legile, ele însele, sînt universale — ele se aplică în *ace-*

laşi mod la toate nivelurile, oricare ar fi masele şi distanţele — , şi ele sînt *suficiente* — ele constituie explicaţia finală şi singura explicaţie completă a tuturor transformărilor naturale.

După cum vom vedea, în ciuda caracterului său, în multe privinţe revoluţionar, în mecanica cuantică situaţia a rămas aceeaşi. Noţiunea de traiectorie a fost înlocuită prin aceea de „pachet de undă" (sau funcţie de undă), dar mişcarea pachetului de undă rămîne la fel de reversibilă; prezentul implică la fel de bine, şi într-o manieră simetrică, atît viitorul cît şi trecutul.

Este greu de imaginat un contrast mai mare cu lumea descrisă de conceptele izvorîte din ceea ce am numit ordinea prin fluctuaţii. Traiectoriilor dinamice li se opun procesele care transformă materia, reacţiile chimice, conducţia, dezintegrările radioactive; reversibilităţii legilor dinamice i se opune ireversibilitatea creşterii entropice pe care o determină aceste procese. Desigur, legile termodinamice rămîn universale în apropiere de echilibru: toate sistemele termodinamice cunosc aceeaşi evoluţie monotonă spre echilibru sau spre o stare staţionară aproape-de-echilibru, dar dincolo de pragul de stabilitate, ideea de universalitate a legii face loc explorării unor comportamente calitativ diferite şi care depind nu numai de detaliul transformărilor disipative, ci, de asemenea, de trecutul sistemului. Şi tocmai pentru că definiţia stării în care acestea se află nu poate să fie pur instantanee, ci trebuie să evoce bifurcările succesive pe care le-a traversat, nu mai este posibil să afirmăm că în fiecare clipă „totul este dat". Determinismul dinamic face loc dialecticii complexe între întîmplare şi necesitate, distincţiei între regiunile de instabilitate şi regiunile între două bifurcaţii, unde domină legile medii, deterministe. Ordinea prin fluctuaţii opune uni-

versului static al dinamicii o lume deschisă, a cărei activitate generează noul, a cărei evoluție este inovație, creație și distrugere, naștere și moarte.

Îndată după formularea de către Clausius a celui de-al doilea principiu a apărut ciocnirea dintre termodinamică și dinamică. Clausius, și după el Maxwell [175], vor reintroduce în descrierea fizică noțiunea de ciocnire și, odată cu aceasta, posibilitatea unei descrieri statistice. Într-adevăr, se pot *număra* ciocnirile, căci sînt evenimente *discrete*, se poate aprecia frecvența medie a diferitelor evenimente — de exemplu ciocnirile care produc o particulă cu viteză v, precum și acelea care determină o particulă cu viteză v să-și modifice această viteză.

Maxwell a pus această întrebare: există o stare fizică a unui gaz, astfel încît ciocnirile, despre care știm că modifică fără încetare vitezele moleculelor, să nu mai permită să evolueze distribuția vitezelor, adică numărul mediu de particule pentru fiecare valoare a vitezei? Pentru care distribuție a vitezelor efectul ciocnirilor asupra fiecărei molecule se compensează la scara ansamblului?

Maxwell a demonstrat că această stare particulară, care este o stare de echilibru termodinamic, este atinsă atunci cînd distribuția vitezelor corespunde celebrei „curbe în clopot", acea curbă care în lucrările lui Laplace, Gauss, Quételet, apare ca însăși expresia întîmplării.

Teoria lui Maxwell permite să se înțeleagă în mod simplu legile termodinamicii care descriu comportarea gazelor la echilibru. Creșterea tempera-

---

[175] Vezi și Brush S., *The Kind of Motion we Call Heat*, cartea I, *Physics and the Atomists*, cartea II, *Statistical and Irreversible Processes*, Amsterdam, North Holland Pub. Comp. 1976, precum și antologia sa comentată: *Kinetic Theory*, vol. I, *The Nature of Gases and Heat;* vol. 2, *Irreversible Processes*, Oxford, Pergamon Press, 1965 și 1966 și Gillipsie C. C., „Intelectual Factors in the Background of Analysis by Probability", în *Scientific Change*, edit., Crombie A., New York, Basic Books, 1963.

turii corespunde unei creșteri a vitezei medii a moleculelor și deci a energiei mișcării lor. Din această ipoteză se deduc direct unele legi clasice ale fizicii și chimiei și, îndeosebi, legătura dintre temperatura unui gaz și presiunea exercitată pe pereții vasului. Distribuția vitezelor lui Maxwell a fost verificată experimental cu mare precizie. Încă și astăzi ea stă la baza soluției a numeroase probleme de chimie fizică (de exemplu calculul numărului de ciocniri într-un amestec).

Cît despre Boltzmann, acesta voia să facă mai mult. El încerca să descrie nu numai *starea* de echilibru, ci *evoluția* spre echilibru, evoluția spre distribuția maxwelliană. Voia să descopere mecanismul molecular care asigură creșterea entropiei, care asigură evoluția sistemului, plecînd de la indiferent ce funcție de distribuție inițială a vitezelor, spre starea finală comună, starea de echilibru.

Pentru Boltzmann, a pune problema evoluției fizice nu la nivelul traiectoriilor individuale, ci la nivelul *ansamblului de molecule*, descris printr-o funcție de distribuție medie, însemna, într-o anumită măsură, să realizeze în fizică demersul lui Darwin: selecția naturală, motorul evoluției biologice, care nu poate nici ea să fie definită la scara unui individ, ci numai pentru o populație numeroasă; este deci un concept statistic [176].

Fără a intra în amănunte tehnice, putem spune că, „ecuația cinetică" a lui Boltzmann descrie evoluția funcției de distribuție a vitezelor ca suma a două efecte; numărul de particule

---

[176] După cum subliniază Y. Elkana ("Boltzmann's Scientific Research Program and its Alternatives" în *Interaction between Science and Philosophy*, Atlantic Highlands, New Jersey, Humanity Press, 1974), ideea darvinistă de evoluție se exprimă în mod explicit mai ales în teoriile lui Boltzmann despre cunoaștere și în modul în care apără modelele mecanice împotriva energetiștilor. Vezi, de exemplu, conferința ținută în 1886 despre „A doua lege a termodinamicii" în *Populäre Schriften* (reeditată în traducere engleză, *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, edit. Mc Guinness B., Dordrecht-Holland, Reidel, 1974).

care la un moment dat, t, au poziția r și viteza v, $f(r, v, t)$, variază, pe de o parte în funcție de mișcarea continuă a particulelor considerate independente (efect notat prin $[\delta f(v, t)/\delta t]$ traiectorii), și, pe de altă parte, ca urmare a ciocnirilor dintre particule (efect notat prin $[\delta f(v,t)/\delta t]$ ciocniri). Primul efect se calculează fără dificultate prin dinamică, dar originalitatea metodei lui Boltzmann se găsește în studiul celui de-al doilea efect. În fața dificultății de a urmări cu exactitate traiectoriile, Boltzmann va folosi concepte analoge acelora evocate în capitolul V în legătură cu reacțiile chimice și va calcula numărul *mediu* de ciocniri care creează sau distrug o moleculă cu viteza v.

Vom avea aici două procese cu efecte opuse, ciocnirile „directe", acelea care dau o moleculă cu viteza v, pornind de la două molecule cu viteza v' și v'' și ciocnirile „inverse" care distrug o moleculă cu viteza v prin ciocnirea cu o moleculă avînd viteza v_1. Ca și în cazul reacțiilor chimice (capitolul V, I) frecvența unor asemenea evenimente se evaluează ca fiind proporțională cu numărul moleculelor susceptibile să participe la aceste evenimente. Istoricește, metoda lui Boltzmann (1872) a precedat-o bineînțeles pe cea din cinetica chimică.

Termenul de ciocnire al lui Boltzmann, variația instantanee a numărului de molecule cu viteza v în urma ciocnirilor, se obține făcîndu-se suma tuturor proceselor care produc sau distrug o particulă cu viteză v. Amănuntele au puțină importanță, este însă esențial să notăm că proprietățile de simetrie ale acestui termen $[\delta f(v,t)/\delta t]$ ciocniri, sînt diferite de acelea ale termenului „continuu" $[\delta f(v,t)/\delta t]$ traiectorii. Acesta din urmă posedă simetria clasică a ecuațiilor dinamice: inversiunea vitezelor forțează sistemul să „se întoarcă în timp". Dimpotrivă, după inversiune, ciocnirile continuă să ducă sistemul spre starea de echilibru, ca și înainte de inversiune. Evaluarea

statistică a bilanțului lor, $[\delta f(v,t)/\delta t]$ ciocniri, rămîne neschimbată; contribuția la ecuația lui Boltzmann, determinată de ciocniri, este *invariantă în raport cu inversiunea vitezelor.*

Simetria termenului de ciocnire constituie o proprietate fizică nouă, străină dinamicii. Ecuația lui Boltzmann conține în același timp o contribuție ce posedă simetria obișnuită a ecuațiilor din dinamică ($v \to -v$ echivalînd cu $t \to -t$) și o contribuție care conduce sistemul spre echilibru, chiar dacă se efectuează o inversiune de viteză.

Integrarea ecuației cinetice a lui Boltzmann este un lucru foarte greu. Este o ecuație neliniară, deoarece funcția de distribuție necunoscută $f(v,t)$ apare în termenul de ciocnire în mod nelinear. Dar rezultatul fundamental al lui Boltzmann se obține cu ajutorul proprietăților generale ale ecuației sale, fără să fie necesară o rezolvare a acestei ecuații. Boltzmann a demonstrat, într-adevăr, că o consecință remarcabilă a simetriei ecuației sale era aceea că, o integrală efectuată pe funcția de distribuție și mai precis mărimea $H = \int f\, dv\, f(v, t) \log f(v, t)$ nu poate decît să *scadă* în cursul timpului pînă atinge un minimum în momentul în care f corespunde distribuției maxwelliane de echilibru. Boltzmann a văzut în această mărime H cheia interpretării microscopice a entropiei. Se născuse un principiu al evoluției moleculare! Se înțelege de ce au fost fascinate toate generațiile de fizicieni care i-au urmat lui Boltzmann, incluzîndu-i pe Planck, Einstein și Schrödinger, între alții [177].

Boltzmann a presupus că $S = -kH$, în care k este din nou constanta universală a lui Boltzmann (a se vedea capitolul IV, 4). Am menționat

---

[177] În *Autobiographie Scientifique* Planck descrie relațiile sale schimbătoare cu Boltzmann (la început ostil distincției fenomenologice făcute de Planck între reversibil și ireversibil). În legătură cu acest subiect vezi și Elkana Y., *op. cit.*, și Brush S., *Statistical Physics and Irreversible Processes*, p. 640—651; în ceea ce-l privește pe Einstein, aceeași carte, p. 672—674; despre Schrödinger, Schrödinger E., *Science, Theory and Man*, New York, Dover, 1957.

deja formula la fel de celebră $S = k \log \rho$ care leagă entropia de numărul de îmbinări. Noua formulă merge chiar mai departe, deoarece leagă entropia de funcția f pe care putem s-o calculăm în orice clipă cu ajutorul ecuației cinetice.

Merită să subliniem un punct. Formula $H = \int dv f \log f$ nu depinde de mecanismul presupus al interacțiunii între molecule. Modelul ciocnirii între sfere rigide ca acela care face din molecule centre de atracție se supune la *aceeași formulare*. Este vorba, desigur, de definiția unui *atractor universal*. În timp ce ecuația cinetică reflectă particularitatea modelelor prin intermediul forțelor intermoleculare, care definesc tipul de interacțiune, în definiția lui H a dispărut orice urmă a ipotezelor dinamice asupra interacțiunilor. Definiția lui H nu depinde decît de funcția de distribuție a vitezelor. Odată ce H este cunoscut, se știe cît este de îndepărtat sistemul de starea de atracție, de starea de echilibru.

În ultimii ani s-au făcut numeroase verificări numerice asupra descreșterii lui H cu timpul. Ele au confirmat predicția lui Boltzmann. În plus, și astăzi ecuația cinetică joacă un rol important în fizica gazelor și a mediilor ionizate; ea permite să se calculeze în termeni moleculari anumiți coeficienți precum cei care caracterizează transferul de căldură sau de materie.

Progresul realizat de Boltzmann din punct de vedere conceptual a fost însă imens: distincția dintre fenomenele reversibile și ireversibile, care se află, după cum am văzut, la baza celui de al doilea principiu al termodinamicii, se regăsește transpusă la nivel microscopic. Termenul $(\delta f/\delta t)$ traiectorii corespunde părții reversibile a evoluției, iar partea $(\delta f/\delta t)$ ciocniri părții ireversibile.

Descoperirea realizată de Boltzmann reprezintă astfel un pas hotărîtor pentru elaborarea unei fizici a *proceselor*, efectul său este comparabil cu acela al dinamicii. Trebuie în felul acesta să conchidem că a fost rezolvată problema ireversibilității, că teoria lui Boltzmann a realizat o dedu-

cere a celui de-al doilea principiu pornind de la dinamică? Entropia a fost oare redusă la dinamică? La această întrebare răspunsul este foarte limpede, şi este negativ.

2. Dinamica şi termodinamica: două lumi separate

Îndată după publicarea lucrării lui Boltzmann, în 1872, s-au ridicat obiecţii la ideea că modelul propus reducea ireversibilitatea la dinamică. Să reţinem aici două dintre ele, una formulată de Poincaré [178], cealaltă de Loschmidt [179].

Obiecţia lui Poincaré se referă la problema simetriei din ecuaţia lui Boltzmann. Un raţionament corect nu poate conduce la concluzii în contradicţie cu premisele. Or, după cum am văzut, proprietăţile de simetrie ale ecuaţiei de evoluţie obţinută de Boltzmann pentru funcţia de distribuţie contrazic proprietăţile dinamicii; Boltzmann nu putea, deci, să fi dedus entropia din dinamică, el a introdus ceva, un element străin dinamicii. Rezultatul său nu poate fi, aşadar, decît un model fenomenologic, fără raport direct cu dinamica.

Poincaré era foarte ferm pe poziţia sa deoarece arătase, într-o scurtă comunicare, posibilitatea construirii unei funcţii M de poziţii şi momente $M(p, q)$ care să aibă proprietăţile entropiei (sau mai curînd ale funcţiei H): în timp ce această funcţie ar fi pozitivă sau egală cu zero, variaţia sa în cursul timpului ar putea doar descreşte sau rămîne la o valoare constantă. Concluzia sa a fost negativă — în cadrul dinamicii *hamiltoniene* o asemenea funcţie nu există. De altfel, ce ar fi putut să mire? Cum ar putea legile reversibile ale dinamicii să genereze într-o modalitate oarecare o evolu-

---

[178] Poincaré H., „La mécanique et l'expérience", în *Revue de Métaphysique et de Morale*, vol. 1, 1893, p. 534—537.

[179] La acest subiect a se vedea Brush S., *op. cit.*, şi observaţiile lui Planck în autobiografia sa (Loschmidt era elevul lui Planck).

ției reversibilă? Poincaré își încheie celebrele *Leçons de thermodynamique* pe un ton de descurajare: va trebui, fără îndoială, să se facă apel la alte considerații, la calculul probabilităților. Cum să se justifice însă această recurgere la noțiuni străine de dinamică?

În ceea ce privește obiecția lui Loschmidt, aceasta permite să se măsoare *limitele de validitate* ale modelului cinetic al lui Boltzmann. El afirmă, într-adevăr, că acest model nu poate rămîne valabil după o inversare a sensului vitezelor $v \rightarrow -v$. *Din punctul de vedere al dinamicii*, nu există ieșire: ciocnirile producîndu-se în sens invers, „vor desface" ceea ce au făcut, sistemul va reveni spre starea sa inițială. Și funcția H, care depinde de distribuția vitezelor, va trebui și ea să crească pînă la valoarea inițială. Inversarea vitezelor impune, prin urmare, o evoluție *antitermodinamică*. Simularea pe un calculator confirmă, într-adevăr, o *creștere a lui H* după inversiunea vitezelor pe un sistem ale cărui traiectorii sînt calculate cu exactitate.

Trebuie admis, așadar, că tentativa lui Boltzmann nu a realizat decît un succes parțial: unele condiții inițiale, îndeosebi acelea ce rezultă din operația de inversiune a vitezelor, pot genera, în contradicție cu modelul cinetic, o evoluție *dinamică* în care H crește. Cum se pot deosebi însă sistemele la care se aplică raționamentul lui Boltzmann de acelea la care nu se aplică?

Odată pusă această problemă, este ușor să recunoaștem natura limitării impusă modelului lui Boltzmann. Acest model se sprijină de fapt pe o ipoteză statistică care permite evaluarea numărului mediu de ciocniri — adică „haosul molecular". Această ipoteză presupune că *înainte* de ciocnire, moleculele au comportamente independente unele față de altele, ceea ce înseamnă că nu există nici o corelație între vitezele lor [180]. Or, dacă impunem sistemului „să se reîntoarcă în timp", se creează

[180] Brush S., *op. cit.*, p. 616–625.

o situație cu totul anormală: de acum înainte unele molecule sînt „destinate" să se întîlnească într-un moment dinainte determinabil și, cu această ocazie, să sufere o schimbare de viteză predeterminată. Oricît de îndepărtate ar fi unele de altele în momentul inversiunii vitezelor, această operație creează prin urmare între ele anumite corelații, ele nu mai sînt independente. Ipoteza haosului molecular nu poate fi emisă în legătură cu un sistem care a suferit operația de inversiune a vitezelor.

Inversiunea vitezelor este, deci, o operație care creează un sistem cu *înaltă organizare,* cu un comportament aparent finalizat: ca printr-o armonie prestabilită, efectul diferitelor ciocniri produce o evoluție globală „antitermodinamică" (de exemplu separarea spontană între molecule lente și rapide dacă, în momentul inițial, sistemul fusese pregătit prin punerea în contact a două gaze cu temperaturi diferite). Acceptarea posibilității unor asemenea evoluții antitermodinamice, chiar rare, chiar excepționale (tot atît de excepționale ca și condiția inițială provocată de inversiunea vitezelor), înseamnă punerea în discuție a formulării celui de-al doilea principiu: există cazuri în care, de exemplu, o diferență de temperatură poate fi produsă „spontan". Trebuie să precizăm atunci condițiile în care un proces ireversibil ar putea deveni reversibil și ar putea chiar să anuleze un proces ireversibil ce a avut loc în trecut. Principiul încetează de a fi un principiu pentru a deveni o generalizare cu efect limitat.

Această concluzie nu poate fi exclusă *aprioric.* Nici astăzi nu știm dacă cel de-al doilea principiu este compatibil cu totalitatea interacțiunilor cunoscute dintre particule și îndeosebi cu interacțiunea gravifică. Nu știm, deci, dacă, așa cum voia Clausius, entropia Universului crește realmente, sau dacă această creștere este limitată la o situație gravifică, dată de galaxia noastră. Pentru forțele cu rază scurtă de acțiune, de tipul interacțiunilor moleculare, nu avem însă nici un motiv să

ne îndoim de cel de-al doilea principiu. În acest caz, nu trebuie să încercăm a preciza argumentul lui Boltzmann eliminîndu-i partea „fenomenologică"? Problema se pune, mai ales, în legătură cu introducerea termenului de ciocnire, pornind de la considerații străine de dinamică, adică invocînd ipoteza haosului molecular.

Deoarece la nivelul unei traiectorii nu poate exista ireversibilitate, trebuie să încercăm să găsim o sinteză mai satisfăcătoare a ideilor de „ansamblu" și a ideilor de traiectorie dinamică. Tocmai acesta formează obiectul teoriei ansamblurilor a lui Gibbs și Einstein spre care ne îndreptăm acum.

3. Ansamblurile lui Gibbs

Descrierea dinamică a unui sistem macroscopic format din aproximativ 10^{23} molecule pune o primă problemă: este evident că nu cunoaștem pozițiile și vitezele inițiale ale celor 10^{23} molecule. Teoria ansamblurilor elaborată de Gibbs și Einstein introduce o descriere dinamică *independentă* de specificarea acestor condiții inițiale.

Teoria ansamblurilor reprezintă orice sistem dinamic în „spațiul fazelor". Starea instantanee a unui sistem compus, de exemplu, din n particule independente poate fi reprezentată prin n puncte și n vectori de viteză într-un spațiu cu *trei* dimensiuni, dar poate fi reprezentată și printr-un *singur punct* într-un spațiu cu $6n$ dimensiuni. În acest caz, evoluția sa în cursul timpului va fi descrisă printr-o traiectorie în acest spațiu denumit „spațiul fazelor". Fiecărui sistem dinamic îi corespunde un spațiu al fazelor, astfel încît fiecare stare a sistemului să poată fi reprezentată în el printr-un punct și numai unul singur.

După cum am mai arătat, nu cunoaștem condițiile inițiale precise ale unui sistem macroscopic. Nimic nu ne împiedică însă de a face să-i corespundă un ansamblu de *puncte reprezentative*:

aceste puncte corespund stărilor dinamice compatibile cu informațiile de care dispunem în legătură cu sistemul. Astfel, fiecare regiune din spațiul fazelor va fi umplută cu puncte reprezentative cu atît mai numeroase, cu cît este mai mare probabilitatea de a găsi efectiv sistemul în acea regiune. În loc de a considera punctele discrete, teoria ansamblurilor introduce o *densitate continuă* a punctelor reprezentative în spațiul fazelor $\rho(q_1 \ldots q_{3N}, p_1 \ldots p_{3N})$. Această densitate poate fi considerată ca măsura probabilității de a găsi un sistem dinamic în jurul unui punct $[q_1 \ldots q_{3N} p_1 \ldots p_{3N}]$ în spațiul fazelor.

Prezentată astfel, funcția densitate poate să apară ca o construcție artificială, contrar traiectoriilor care ar popula lumea „în mod firesc". Totuși, tocmai traiectoria este o idealizare. Nu cunoaștem, într-adevăr, *niciodată* condițiile inițiale cu precizia infinită care le-ar reduce la un punct unic în spațiul fazelor; de aceea, nu putem defini niciodată o traiectorie unică plecînd de la acest punct unic; putem calcula doar un ansamblu de traiectorii pornind de la ansamblul punctelor reprezentative ale sistemului în starea inițială. Așadar, cunoașterea pe care o avem despre un sistem este reprezentată, într-adevăr, de ρ, iar volumul spațiului fazelor în care ρ este diferit de zero, în care sistemul are o șansă ne-nulă de a se găsi, exprimă precizia acestei cunoașteri. Atunci cînd ρ nu este egal cu zero în nici o regiune a spațiului, ci posedă o valoare uniformă pretutindeni, cunoașterea noastră este „minimală".

În această perspectivă traiectoria reprezintă, dimpotrivă, cunoașterea maximală a unui sistem și nu poate să rezulte decît dintr-o trecere la limită pentru o precizie crescîndă a cunoașterii condițiilor inițiale. După cum vom vedea, problema fundamentală este de a ști cînd este posibilă această trecere la limită și cînd are sens ideea de a „dezvălui" un sistem prin aproximații succesive. Pe măsură ce crește precizia măsurătorilor noastre, trecem de la o regiune dată din spațiul fazelor în care ρ este diferit de zero, la o regiune

mai mică, în interiorul celei dintîi, și așa în continuare, pînă cînd regiunea în care se poate afla sistemul tinde către zero. O măsurare, care întotdeauna este de o precizie finită, nu va permite niciodată să se treacă de la o regiune oricît de mică am vrea la un *punct*, decît prin idealizare. Faptul că idealizarea trecerii la limită și deci a traiectoriei nu este întotdeauna posibilă, stă la baza reînnoirii contemporane din dinamică.

Introducerea teoriei ansamblurilor de către Gibbs și Einstein a fost prelungirea firească a efortului lui Boltzmann; funcția ρ înlocuiește aici într-un anumit sens funcția de distribuție a vitezelor f. Dar conținutul fizic al lui ρ depășește pe acela al lui f. Ca și f, ρ determină distribuția vitezelor, dar în plus, ne dă și alte informații precum probabilitatea de a găsi două particule la o anumită distanță, deci corelația dintre particule.

Trebuie să descriem acum ecuația pentru evoluția distribuției statistice ρ. La prima vedere, aceasta pare o sarcină încă mai grea decît aceea pe care și-a impus-o Boltzmann în ce privește funcția de distribuție a vitezelor. Dar nu este așa, căci ecuațiile lui Hamilton, discutate în capitolul II, ne permit să obținem în mod direct o ecuație de evoluție exactă pentru ρ fără să introducem nici o aproximație statistică. Este vorba de celebra ecuație elaborată de Liouville asupra căreia vom reveni. Să reținem doar că proprietățile dinamicii hamiltoniene implică ideea că evoluția lui ρ în spațiul fazelor se efectuează ca într-un *fluid necompresibil*: dacă inițial punctele reprezentative ocupă un volum V din spațiul fazelor, în cursul timpului acest volum *este conservat*. Forma volumului poate să se deformeze arbitrar, valoarea sa trebuie însă să rămînă constantă.

Teoria ansamblurilor a lui Gibbs permite combinarea riguroasă a punctului de vedere statistic (studiul populației sistemelor dinamice descris prin ρ) cu legile dinamicii. Pe de altă parte, ea permite o reprezentare mai precisă a stării de

echilibru termodinamic. Astfel, în cazul unui sistem izolat, ansamblul punctelor reprezentative corespunde sistemelor posedînd aceeași energie E. Densitatea ρ nu va fi, așadar, diferită de zero decît pe „suprafața" ce corespunde în spațiul fazelor acestei valori de energie, suprafața „microcanonică", astfel încît $H(q_1 \ldots q_{3N}, p_1 \ldots p_{3N}) = E$.

Pe această suprafață densitatea ρ poate fi distribuită inițial în mod arbitrar. La echilibru este necesar ca ρ, care permite să se calculeze valorile medii corespunzînd mărimilor macroscopice pe care echilibrul le definește ca fiind constante, să nu mai varieze în cursul timpului și să fie independentă de particularitatea stării inițiale; distribuția pe care o caracterizează devine *uniformă* pe suprafața microcanonică, ceea ce înseamnă că fiecare dintre punctele acestei suprafețe posedă, de acum înainte, o probabilitate egală de a reprezenta efectiv sistemul. Vorbim atunci despre un *ansamblu microcanonic* caracterizat printr-o valoare constantă a lui ρ pe suprafața $H = E$ și nulă în oricare altă parte. Gibbs a arătat că, plecînd de la densitatea unui ansamblu microcanonic, se puteau regăsi toate proprietățile sistemelor termodinamice izolate în stare de echilibru.

Ne-am apropiat astfel mai mult de rezolvarea problemei entropiei? Teoria lui Boltzmann a permis să se explice atractorul termodinamic în termenii funcției de distribuție a vitezelor f: această funcție evoluează pînă la atingerea distribuției maxwelliene și în cursul acestei evoluții, mărimea H descrește. Într-o modalitate mai generală putem considera acum evoluția distribuției ρ în spațiul fazelor spre ansamblul microcanonic ca o explicație pentru creșterea entropiei? Este oare suficient să înlocuim mărimea H a lui Boltzmann prin mărimea H_G a lui Gibbs, definită în același mod, dar de data aceasta în termenii ρ, $H_G = \int \rho \ln \rho \, dp \, dq$?

Din nefericire, nu este vorba de așa ceva; dacă utilizăm ecuația lui Liouville cu ideea să despre conservarea volumului din spațiul fazelor, con-

cluzia este imediată: *H este o constantă* și, prin urmare, nu poate reprezenta entropia. În loc de a progresa, am dat înapoi în raport cu Boltzmann!

Și la urma urmei ar trebui oare să ne mirăm? Teoria ansamblurilor a lui Gibbs nu introduce decît un singur element suplimentar, într-adevăr foarte important în raport cu dinamica — ignorarea condițiilor inițiale. Această ignorare era ea suficientă pentru a ne conduce la ideea ireversibilității? Trebuia oare să conchidem că toate sistemele dinamicii satisfac al doilea principiu, dacă ignorăm condițiile inițiale? A lega ireversibilitatea de cunoașterea noastră, în loc de a face din ea o proprietate fizică, reprezintă interpretarea subiectivistă a celui de-al doilea principiu, pe care îl vom discuta acum.

4. Interpretarea subiectivistă a ireversibilității

Gibbs considera, după cît se pare, că trebuie abandonată speranța de a obține o soluție „obiectivă" în problemele ireversibilității, resemnîndu-ne la o interpretare subiectivistă, întemeiată nu pe proprietăți fizice intrinsece, ci pe cunoașterea și ignoranța observatorului. După cum propunea el, dacă amestecăm o picătură de cerneală neagră cu apă pură, în curînd apa devine cenușie într-o evoluție care, pentru noi, reprezintă chiar ireversibilitatea; totuși, pentru un observator cu simțurile destul de ascuțite pentru a observa nu lichidul macroscopic, ci fiecare dintre moleculele ce constituie amestecul, lichidul nu va deveni niciodată cenușiu; observatorul va putea urmări traiectoriile din ce în ce mai delocalizate ale „moleculelor de cerneală" îngrămădite mai întîi într-o mică regiune a sistemului, dar ideea că mediul din eterogen a devenit ireversibil omogen, că apa a „devenit cenușie", va fi, din punctul său de vedere, o iluzie determinată de simplitatea mijloacelor noastre de observație, o iluzie subiectivă.

Același observator nu a văzut decît anumite mișcări, reversibile, nimic cenușiu ci doar „negru" *și* „alb". Dacă descrie evoluția în cadrul teoriei ansamblurilor, el constată ramificarea, prin tot spațiul fazelor, a regiunii inițiale care conținea punctele reprezentative ale sistemului; pentru el însă, regiunea nu și-a schimbat volumul (evoluție liouvilliană), în timp ce „pentru noi" care nu avem acces la traiectorii, acest volum a crescut neîncetat (evoluție ireversibilă).

Potrivit acestei interpretări, creșterea entropiei nu descrie sistemul însuși, ci doar cunoașterea de către noi a sistemului. Ceea ce crește neîncetat este ignoranța noastră referitor la starea în care se află sistemul, la regiunea din spațiul fazelor în care punctul care-l reprezintă are șanse de a se regăsi. La momentul inițial, putem avea multe informații despre un sistem, și să-l localizăm cu destulă precizie într-o regiune restrînsă din spațiul fazelor, dar, pe măsură ce trece timpul, punctele compatibile cu condițiile inițiale vor putea da naștere unor traiectorii care se îndepărtează din ce în ce mai mult de regiunea de plecare. Informația legată de pregătirea inițială își pierde astfel în mod ireversibil relevanța pînă la un stadiu ultim, cînd din sistem nu mai putem cunoaște decît acele mărimi pe care evoluția dinamică le lasă invariante. Sistemul se află atunci la echilibru, el poate fi găsit în toate punctele de pe suprafața microcanonică. Creșterea entropiei reprezintă, așadar, degradarea informației disponibile; inițial, sistemul este cu atît mai departe de echilibru, cu cît îl cunoaștem mai bine, cu cît îl putem defini cu mai multă precizie și să-l situăm într-o regiune mai restrînsă din spațiul fazelor [181].

Această interpretare subiectivistă a ireversibilității ca o creștere a ignoranței (întărită încă prin analogia ambiguă cu teoria informației) face din observator adevăratul responsabil al

---

[181] Vezi, de exemplu, Jaynes E. T., „Gibbs Vs Boltzmann Entropies", în *American Journal of Physics*, vol. 33, 1965, p. 391—398.

asimetriei temporale care caracterizează devenirea sistemului. Deoarece observatorul nu poate să îmbrățișeze dintr-o singură privire pozițiile și vitezele particulelor ce formează un sistem complex, el nu are acces la adevărul fundamental al acestui sistem: el nu poate cunoaște starea instantanee în care este conținut trecutul și viitorul, el nu poate sesiza legea reversibilă care, din moment în moment, i-ar permite să-i determine evoluția. Nu poate nici să manipuleze sistemul, așa cum face demonul imaginat de Maxwell, capabil să separe particulele rapide și particulele lente, impunînd astfel unui sistem o evoluție antitermodinamică spre o distribuție de temperatură din ce în ce mai puțin uniformă [182].

Termodinamica este, desigur, știința sistemelor complexe, dar după această interpretare, singura specificitate a sistemelor complexe este faptul că ceea ce cunoaștem despre ele este întotdeauna aproximativ și incertitudinea determinată de această aproximație crește de-a lungul timpului. În loc de a putea recunoaște în devenirea ireversibilă a lucrurilor analogul devenirii sale, observatorul trebuie să admită că natura, străină acestei deveniri, se mărginește să-i retrimită imaginea creșterii propriei sale ignoranțe; natura este mută, devenirea naturală, departe de a vorbi omului de înrădăcinarea sa în lume nu este decît ecoul acțiunilor umane și al limitelor lor.

Obiecția este totuși imediată: în acest caz termodinamica ar trebui să fie la fel de universală ca și neștiința noastră. Aici se află piatra de încercare a ansamblului de interpretări „simple" ale entropiei în funcție de incertitudinea asupra condițiilor inițiale sau asupra condițiilor la limită.

---

[182] Demonul lui Maxwell apare în Maxwell J. C., *Theory of Heat* cap. XXII, Londra, Longmans, 1871; referitor la acesta vezi și Daub E. E., „Maxwell's Demon", în *Studies in History and Philosophy of Science*, vol. 1, 1970, p. 213—227 și în același volum consacrat lui Mawxell, Heimann P., „Molecular Forces, Statistical Representation and Maxwell's Demon", p. 189—211.

Căci ireversibilitatea *nu este o proprietate universală*; a articula dinamica și termodinamica necesită prin urmare definirea unui criteriu *fizic* de diferențiere între sisteme, conform căruia ele pot sau nu pot fi descrise termodinamic, necesită o definire a sistemelor complexe în termeni fizici și nu în termeni de lipsă de cunoaștere. Această problemă o vom studia în cap. IX; vom regăsi acolo temele observației și ale ignoranței, de data aceasta însă asociate anumitor proprietăți specifice ale sistemelor studiate.

Cum putem explica faptul că interpretarea subiectivistă a putut convinge pe unii oameni de știință? Poate că o parte din puterea ei de seducție provine din aceea că, efectiv, la origine, creșterea ireversibilă a entropiei a fost asociată cu ideea unei manipulări imperfecte, a lipsei de control asupra operațiilor care, pe plan ideal, ar fi fost reversibile, cu grija față de risipa și pierderea de randament ce rezultă.

Totuși, această interpretare devine absurdă îndată ce abandonăm asociațiile imaginare determinate de aceste preocupări tehnologice, redînd contextul care a conferit celui de-al doilea principiu semnificația sa de săgeată a timpului în sînul naturii. Astfel, afinitatea chimică, conducția termică al cărei caracter universal îl subliniase Fourier, vîscozitatea, ansamblul proprietăților legate de creșterea ireversibilă a entropiei, nu ar depinde deci de obiect, ci de observator? Așadar, combustia ireversibilă dinlăuntrul unui furnal, focul care devorează materia ar fi oare în strînsă corelație cu creșterea ignoranței noastre cu privire la aceste obiecte? Vechii chimiști au evocat caracterul *specific* al proprietăților termice și chimice ale materiei pentru a protesta contra dominației mecanicii, abstractă și generală; și acestea vor fi tocmai proprietățile cărora le-am nega caracterul obiectiv de materie, cărora le-am nega legătura intrinsecă cu materia, cărora le-am pretinde să aibă proprietăți determinate de caracterul aproximativ al cunoașterii noastre!

Absurditatea devine și mai evidentă de îndată ce limitele principiului de ordine al lui Boltzmann au fost stabilite în termodinamică. Atîta vreme cît era vorba de a se socoti numărul îmbinărilor, cel de-al doilea principiu putea doar să stabilească diferența între evoluțiile previzibile și reproductibile spre ce este mai probabil, și toate celelalte, improbabile, dar compatibile, cu legile fizicii. Acest rol de „principiu regulator" care nu explică nimic, dar definește clase de probabilitate, a creat tentația de a identifica descrierea termodinamică cu un ansamblu de rețete de manipulare și de previziune, neglijînd complet procesele ireversibile care explică comportarea sistemului [183]. Dimpotrivă, cînd se pune problema stabilității, cînd nu este exclus ca o fluctuație, în loc de a regresa, să se amplifice, activitatea ireversibilă devine constructivă, sistemul dobîndește o autonomie definită prin diferitele moduri în care se poate desfășura activitatea sa pentru același ansamblu de condiții la limită. De acum înainte, descrierea acestei activități și nu manipularea și explorarea sistemului constituie problema termodinamicii.

În măsura în care fenomenele de organizare izvorîte din ireversibilitate joacă un rol determinant în biologie, devine imposibil să facem din ele doar o simplă aparență legată de ignoranța noastră: noi înșine, ființe vii, care observăm și manipulăm, sîntem oare iluzii produse de imperfecțiunea simțurilor noastre?

Evoluția recentă a teoriilor din termodinamică a contribuit și la violența ciocnirii dintre cele două discipline, termodinamica și dinamica. Pretenția dinamicii de a reduce specificitatea ter-

---

[183] În lucrarea sa *Différence et répétition* (Paris, P.U.F., 1972, p. 288—314), Gilles Deleuze arată alianța știință-bun simț filozofic care a dominat atîta vreme cît cel de-al doilea principiu a rămas un principiu general, care explică totul dar nu dă socoteală de nimic. Versiunea nietzscheană a energetismului pe care-l prezintă, constituia, într-adevăr, în cadrul *termodinamicii de echilibru* (care nu are nevoie de ireversibilitate decît pentru a garanta stabilitatea stărilor de echilibru), punctul de vedere coerent.

modinamicii la efectul unei cunoașteri aproximative, devine exagerată, de îndată ce apare rolul constructiv al entropiei. Invers, este greu ca, în numele ireversibilității, să fie negată dinamica: mișcarea planetelor este conservativă și nu se schimbă în nici un fel, mișcarea pendulară nu manifestă nici o creativitate, iar oscilația sa constituie, într-adevăr, o aproximație a mișcării eterne prevăzută de dinamică într-o lume fără frecare. După cît se pare, avem de acum înainte două lumi care se înfruntă, o lume a traiectoriilor și o lume a proceselor, și nici un mijloc de a nega pe una pentru a o afirma pe cealaltă.

Este interesant de remarcat că, de fapt, într-un anumit fel, situația noastră nu este lipsită de analogie cu aceea care a dus la apariția materialismului dialectic. Evoluția contemporană a fizicii, descoperirea rolului constructiv al entropiei, a impus în interiorul științelor naturii o problemă de multă vreme pusă de către aceia pentru care înțelegerea naturii însemna înțelegerea unei naturi capabile să producă oamenii și societățile lor. Am descris o natură pe care o putem defini ca „istorică", capabilă de dezvoltare și inovație, dar ideea unei istorii a naturii a fost de multă vreme exprimată de Marx și, în mod mai amănunțit de Engels, ca parte integrantă a poziției materialiste.

În epoca în care Engels scria *Dialectica naturii* se putea crede că știința fizică se degajase de mecanicism, impunînd ideea unei dezvoltări istorice a naturii. Engels citează trei descoperiri fundamentale, aceea a energiei și a legilor transformărilor ei calitative, descoperirea celulei, entitate constructivă a viului care permite să se înțeleagă în același timp unitatea lumii vii și capacitatea organismelor de a se dezvolta, în sfîrșit, descoperirea darvinistă a evoluției speciilor. Din această reînnoire a științei din epoca sa, Engels conchide că epoca mecanicismului s-a încheiat și că nimic nu se mai opune căutării în istoria naturii și a societăților umane a legilor generale ale dezvoltării istorice: legile dialectice.

Astăzi știm că descoperirile științelor naturii din veacul al XIX-lea nu au fost suficiente pentru a transforma principiile acestor științe. Nu că știința clasică s-ar fi dovedit capabilă să le asimileze: ansamblul interpretărilor subiectiviste ale entropiei și negarea particularității proceselor ireversibile pe care le implică constituie, dimpotrivă, un fel de confirmare a binecunoscutei acuzații după care mecanicismul implică un idealism mai mult sau mai puțin mărturisit. Cît despre materialismul dialectic, acesta s-a găsit confruntat cu o dificultate majoră: care sînt relațiile între legile generale ale dialecticii și legile, la fel de universale, ale mișcării mecanice? Acestea din urmă „încetează" de a se aplica dincolo de un anumit punct, sau poate sînt ele false sau incomplete? Cum poate fi articulată, și aici regăsim întrebarea noastră, lumea proceselor și lumea traiectoriilor ? [184].

Totuși, spre a răspunde la această întrebare, dispunem acum de două argumente suplimentare. Știm mai întîi că problema nu este atît o problemă a articulării celor două tipuri de legi universale, ci aceea a limitei legilor universale. În momentul în care a descoperit domeniul proceselor autoorganizatoare, termodinamica a descoperit, totodată, că nu mai putea asimila în mod universal reacțiile unui sistem cu o schimbare a condițiilor sale la limită, ci trebuia să exploreze stabilitatea structurilor particulare pe care le generează procesele ireversibile în anumite condiții. Paralel cu evoluția termodinamicii s-au produs ulterior și alte transformări conceptuale fundamentale. Astăzi, situația dinamicii clasice în interiorul fizicii nu mai este aceea pe care au cunoscut-o

---

[184] Se pare că mulți filozofi marxiști ai naturii se inspiră din Engels (reluat de Lenin în *Caiete filozofice*), care scria în *Anti-Dühring* că „Mișcarea însăși este o contradicție; chiar și simpla deplasare mecanică se poate produce numai datorită faptului că un corp este în unul și același moment într-un loc și totodată în alt loc, că este în unul și același loc și nu este în el" (K. Marx și F. Engels, *Opere*, vol. 20, Editura politică, București, 1964, p. 118. — *Nota trad.)*

Boltzmann, Poincaré și Lenin. Ceea ce la sfîrșitul secolului al XIX-lea se prezenta ca un „ocean" de diferență între dinamică și termodinamică, între lumea ființei și lumea devenirii, astăzi s-a restrîns la dimensiunile unui „rîu": încă prea larg pentru a fi ignorat dar, destul de îngust pentru a se arunca o punte între știința despre „ființă" și aceea despre „devenire".

Această punte trebuie descoperită. Și pentru aceasta trebuie să ne întoarcem la punctul nostru de plecare, la concepțiile fundamentale ale dinamicii. Căci noile teorii fizice îmbogățesc concepția noastră despre timp; alături de timpul general, de timpul orologiului, ele introduc „un al doilea timp" cu încărcătura devenirii termodinamice. Înainte de a descrie însă aceste dezvoltări de dată foarte recentă, trebuie să le situăm în cadrul teoriilor care le-au făcut posibile, în cadrul reînnoirii fizicii secolului nostru.

Capitolul VIII

Reînnoirea științei contemporane

1. Dincolo de simplitatea microscopicului

Știința newtoniană a constituit rezultatul, sinteza care a încununat secole de experimentare, precum și de linii convergente ale cercetărilor teoretice. Același lucru este valabil pentru termodinamică. Progresul științei este destul de diferit de desfășurarea monotonă a disciplinelor științifice, fiecare din ele fiind divizată, la rîndul ei, într-un număr crescînd de compartimente ermetice. Dimpotrivă, convergența diferitelor probleme și puncte de vedere poate să desființeze compartimentările și să stimuleze cultura științifică în general. Aceste puncte de convergență au consecințe care se

îndepărtează de propriul lor context științific și influențează cultura, a cărei problematică globală a servit deseori drept sursă de inspirație pentru știință. Eșecul parțial al lui Boltzmann și scepticismul lui Poincaré arată că trebuia să se ajungă la un nou punct de cotitură, că a fost necesară o nouă sinteză. O asemenea sinteză se conturează astăzi, tot atît de neașteptat ca și în trecut. Ne aflăm din nou în prezența unei remarcabile convergențe a cercetărilor, care contribuie toate la înlăturarea dificultăților inerente în concepția newtoniană a teoriei științifice.

Ambiția teoriei newtoniene a fost de a prezenta o viziune a naturii care ar fi universală, deterministă, cu atît mai obiectivă cu cît ea nu conține nici o referință la observator, cu atît mai perfectă cu cît atinge un nivel fundamental al descrierii, care scapă din cătușele timpului.

Fără îndoială, observarea mișcării aștrilor cu periodicitatea lor a fost una din cele mai vechi surse de inspirație pentru concepția științei clasice, adică descoperirea stabilității ca cheie a schimbărilor. De asemenea, cei care studiau materia obișnuiau să caute în aceasta simplitatea care ar trebui să caracterizeze nivelul elementar. Această concepție părea să fie în deplină armonie cu existența atomilor, aceste obiecte indivizibile care pentru antici au constituit literele cu care a fost scris textul lumii.

Totuși, de la evul clasic încoace, universul fizic accesibil cercetării noastre a explodat. Dar mai important poate decît această extindere a limitelor universului, accesibile studiului nostru, este modul în care noi îl concepem. Așa cum arătam în Introducere, acolo unde știința clasică obișnuia să scoată în evidență caracterul permanent, noi vedem astăzi schimbare și evoluție, vedem particule elementare transformîndu-se unele în altele, ciocnindu-se, descompunîndu-se și născîndu-se din nou; noi nu mai vedem pe cer traiectoriile periodice, care-l entuziasmau pe Kant în aceeași măsură ca și legea morală care-l domina; noi vedem azi

niște obiecte stranii, quasari, pulsari, galaxii, care explodează și se sfarmă, stele, despre care ni se spune că se prăbușesc în „găuri negre" și devorează ireversibil tot ce întîlnesc.

Timpul n-a pătruns numai în biologie, geologie, în știința societăților și culturilor, ci și la două nivele din care a fost exclus prin tradiție, adică la nivelul microscopic fundamental și la nivelul cosmologic. Nu numai viața, ci și universul ca atare are o istorie ... e un eveniment cu profunde rezonanțe culturale.

Prima lucrare teoretică despre un model cosmologic a fost publicată de Einstein, în 1917. Ne aflăm în fața unei concepții statice, atemporale asupra universului, un fel de transpunere a ideilor lui Spinoza în fizica teoretică. Și aici s-a produs surpriza. A reieșit foarte repede că la ecuațiile cosmologice ale lui Einstein au existat alte soluții. Cei implicați în această descoperire sînt astrofizicianul rus Friedmann și belgianul Lemaître. Chiar în aceeași perioadă, Hubble și colaboratorii săi studiau mișcările galaxiilor și au formulat cunoscuta lege a lui Hubble: viteza de deplasare a galaxiilor este proporțională cu distanța. Legătura cu universul în expansiune a lui Friedmann și Lemaître a fost evidentă. Totuși, multă vreme, mulți fizicieni s-au opus acceptării unei asemenea descrieri istorice a evoluției universului. Însuși Einstein nu a agreat-o prea mult. Lemaître povestea adesea că ori de cîte ori încerca să discute cu Einstein posibilitatea de a face mai precisă poziția inițială a universului și de a găsi poate acolo explicația razelor cosmice, Einstein nu manifesta interes. Aceasta semăna prea mult cu Facerea!

Astăzi avem o nouă evidență, celebra radiație reziduală a corpului negru care ne înzestrează tocmai cu lumina care a iluminat explozia globului de foc hiperdens din care a luat naștere universul nostru. Întreaga poveste apare ca o ironie a istoriei. Dintr-un anumit punct de vedere, împotriva voinței sale, Einstein a devenit Darwin-ul fizicii. Darwin ne-a învățat că omul este înglobat într-o

evoluție biologică; Einstein ne-a învățat că sîntem produsul unui univers în dezvoltare. Ideile lui Einstein ne-au condus spre un nou continent, tot atît de neașteptat pentru el, cum a fost America pentru Cristofor Columb.

Ne-am referit la un nivel microscopic fundamental ca și cum acest nivel ar fi fost în sfîrșit descoperit; ca și cum ambiția omului de a reduce complexitatea lumii la comportarea simplă a unui anumit număr de tipuri de particule ar fi fost în sfîrșit realizată. Desigur, în multe cazuri, unii au crezut că au reușit; s-a cercetat cu atenție atomul cu nucleul său pozitiv și electroni negativi, apoi nucleul cu protonii și neutronii săi, dar de fiecare dată a fost descoperit un alt nivel, aparent mai fundamental și a fost necesar să se introducă alte particule și interacțiuni noi. Scopul căutării a fost găsirea unei legi universale pentru a o înlocui pe cea a lui Newton, pentru a ține seama de noile interacțiuni, care au fost descoperite.

Această cercetare se îndepărtează din ce în ce mai mult de noi. Nu mai putem împărtăși optimismul acestei cercetări, ideea simplității nivelului microscopic ipotetic. Particulele elementare nu sînt mai simple decît lumea stelelor. Singurele obiecte a căror comportare este într-adevăr „simplă" aparțin lumii noastre, dimensiunilor noastre macroscopice. Știința clasică a ales cu grijă aceste obiecte, la acest nivel intermediar. Primele obiecte semnalate de știința newtoniană — corpurile care cad, pendulul, mișcarea planetară erau într-adevăr simple. Noi știm totuși în prezent că această simplitate nu este un indiciu al fundamentului și că nu poate fi atribuită restului lumii.

Aparent aceasta ar fi suficient. Noi știm azi că stabilitatea și simplitatea sînt excepții. Am putea să nu ținem seama de pretențiile totalitare ale unei conceptualizări care, de fapt, se aplică numai la aceste lucruri simple și stabile. De ce să ne preocupăm de incompatibilitatea între dinamică și termodinamică?

Aceasta ar însemna să uităm cuvintele lui Whitehead, care au fost confirmate permanent de istoria științei: ciocnirea dintre doctrine este o ocazie, o oportunitate. S-a sugerat deseori abandonarea pur și simplu a anumitor rezultate, pe motiv că sînt bazate pe idealizări și greu de realizat din considerente *practice*. La începutul acestui secol, mulți fizicieni au propus abandonarea determinismului, din motive practice, ca o ieșire din paradoxul lui Loschmidt, adică paradoxul inversării vitezelor și al descreșterii ulterioare a entropiei[185]. Într-adevăr, așa cum am arătat, noi nu cunoaștem niciodată precis viteza moleculelor într-un sistem complex. Cum să facem atunci inversarea vitezei printr-un experiment „real"? Mai aproape de epoca noastră, Brillouin spera și el să pună capăt determinismului, amintind acest adevăr simplu că o determinare precisă cere o cunoaștere precisă a condițiilor inițiale și că această cunoaștere trebuie plătită; prezicerea exactă pe care o presupune determinismul cere un preț „infinit"; acest lucru este, prin urmare, lipsit de sens.

Aceste obiecții cu privire la lumea conceptuală a dinamicii au un mare defect; ele sînt rezonabile dar sterile; ele sînt lipsite de o fecunditate proprie, ele nu aduc nici un punct de vedere nou asupra realității; ele pretind să coordoneze și să raționalizeze dialogul cu natura, dar nu conțin promisiunea unui dialog nou.

Acesta este motivul pentru care dovezile imposibilității au jucat un rol atît de important. Descoperirea unei imposibilități fizice nu este rezultatul unei reduceri la bunul simț. Descoperirea unei *structuri intrinsece a realului* este aceea care condamnă la nereușită un proiect teoretic. Consecința unei asemenea descoperiri este excluderea posibilității unei operații care se putea considera, pînă atunci, realizabilă cel puțin în principiu.

---

[185] Vezi Brush S., *Statistical Physics and Irreversible Processes*, în special, p. 616–625.

„Nici o mașină nu poate avea un randament supraunitar", „nici o mașină termică nu poate produce căldură dacă nu este în contact cu două surse"; acestea sînt exemple de afirmare a imposibilității, care au condus la inovații conceptuale deosebite.

Termodinamica, relativitatea și mecanica cuantică își au rădăcinile în descoperirea imposibilităților, a limitărilor impuse ambițiilor fizicii clasice. Ele ar fi marcat sfîrșitul unei explorări care și-a atins limitele. Numai că acum vedem aceste inovații științifice într-o altă lumină,. nu ca un sfîrșit, ci ca un început, ca apariție a unor noi posibilități. Vom vedea în capitolul IX că cea de-a doua lege, la nivel microscopic chiar, exprimă o „imposibilitate", dar și acolo imposibilitatea abia descoperită devine punctul de pornire pentru apariția de noi concepte.

2. Sfîrșitul universalității

Ideea că descrierea științifică trebuie să fie compatibilă cu mijloacele teoretice accesibile unui observator aparținînd acestei lumi și nu unei ființe independente care ar contempla lumea fizică „din afară" constituie una din ideile de bază ale teoriei relativității. Tocmai în legătură cu propagarea semnalelor apare o limită care nu poate fi încălcată de nici un observator. Într-adevăr, *c*, viteza luminii în vid ($c = 300\,000$ km/sec) este viteza limită a propagării semnalelor, indiferent de natura lor (unde electromagnetice, acustice sau chimice). Aceasta joacă deci un rol fundamental. Ea limitează spațiul care poate să influențeze punctul în care se află un observator.

În fizica newtoniană nu există nici o constantă universală asemănătoare lui „c". Tocmai acesta este motivul pentru care aspiră la universalitate. Ea poate fi aplicată în același fel, indiferent de întinderea obiectelor. Mișcările atomilor, planetelor, stelelor sînt guvernate de aceeași lege. Uni-

versul este deci omogen și vechiul vis este încă posibil. S-ar putea oare ca sistemul nostru planetar să fie un atom dintr-un organism gigantic?

Acest vis a fost spulberat definitiv prin descoperirea constantelor universale. În același moment în care a stabilit o sinteză între dinamică și cîmpul electromagnetic responsabil pentru propagarea undelor luminoase, relativitatea a stabilit și o distincție între vitezele mici și vitezele mari, acelea care pot fi comparate cu viteza de propagare a luminii. Prin urmare, ar trebui făcută o distincție netă între comportamentele obiectelor fizice în funcție de viteza lor, dacă aceasta este apropiată de cea a luminii sau mult mai mică.

În mod asemănător constanta h a lui Planck, asupra căreia vom reveni mai tîrziu, stabilește o scară naturală în conformitate cu masa obiectelor. Atomul nu mai poate fi privit ca un mic sistem planetar. Electronii aparțin unei alte scări decît planetele și decît celelalte ființe macroscopice, masive și lente, din care facem parte și noi.

Constantele universale nu numai că distrug omogenitatea universului prin introducerea unor scări fizice în funcție de care diferite comportamente devin calitativ diferite; în plus, constantele universale duc la o nouă concepție a obiectivității fizice. Nici o ființă supusă legilor fizice nu poate transmite semnale cu o viteză mai mare decît cea a luminii în vid. De aici remarcabila concluzie a lui Einstein: nu se mai poate vorbi de simultaneitatea absolută a două evenimente care au loc în puncte diferite. Simultaneitatea poate fi definită numai în termenii unui sistem de referință dat. În această carte nu ne-am propus o expunere a fizicii relativiste. Ne limităm la a remarca aici că legile lui Newton nu presupun ca observatorul să fie „o ființă fizică". Descrierea obiectivă a fost definită aici tocmai ca lipsa oricărei referiri la autorul său. Pentru ființe inteligente „non-fizice" capabile să comunice cu o viteză infinită, legile relativității ar fi greșite. Faptul că relativitatea se bazează pe o constrîngere care e valabilă numai pentru observatori loca-

lizați fizic, pentru ființe care pot fi numai într-un singur loc, la un moment dat și nu peste tot, simultan, conferă acestei fizici o calitate „umană". Aceasta nu înseamnă, totuși, că e vorba de o fizică subiectivă, produs al preferințelor și convingerilor noastre; este vorba de o fizică supusă constrîngerilor noastre; este vorba de o fizică supusă constrîngerilor intrinsece, care ne identifică ca parte a lumii fizice pe care o descriem. Tocmai această fizică este aceea care presupune un observator situat în lume, confirmat de experiență. Dialogul nostru cu natura este dus cu succes numai dacă este purtat din interiorul naturii.

3. Sfîrșitul obiectului galilean: mecanica cuantică

Relativitatea a modificat concepția obiectivității fizice. Cu toate acestea, ea a păstrat intactă o altă caracteristică fundamentală a fizicii clasice și anume, ambiția de a obține o descriere „completă" a naturii. După relativitate, fizicianul nu mai poate invoca extrapolarea unui demon care ar observa întregul univers din exterior, dar el poate să mai imagineze un matematician suprem, acela care, după cum pretinde Einstein, nici nu trișează, nici nu joacă zaruri. Matematicianul ar putea cunoaște formula Universului care include o descriere completă a naturii. În acest sens relativitatea este încă o continuare a fizicii clasice.

Pe de altă parte, mecanica cuantică este prima teorie fizică, care a rupt într-adevăr cu trecutul. Mecanica cuantică nu numai că ne situează în natură, ea ne identifică ca ființe „grele", constituite dintr-un număr macroscopic de atomi. Pentru a-și reprezenta mai clar consecințele vitezei luminii ca o constantă universală, Einstein se imagina pe el însuși călărind un foton. Dar mecanica cuantică a descoperit că noi sîntem prea grei pentru a călări fotoni sau electroni. Ne este imposibil să

ne imaginăm că putem înlocui asemenea fiinţe uşoare, identificîndu-ne cu ele, că putem descrie ce gîndesc, dacă ar fi capabile să gîndească, ce ar experimenta, dacă ar putea să simtă ceva.

Istoria mecanicii cuantice, ca şi aceea a tuturor inovaţiilor conceptuale, este o istorie completă, plină de evenimente neaşteptate, istoria unei logici ale cărei implicaţii se descoperă după ce aceasta s-a produs sub presiunea dialogului experimental şi într-un mediu cultural şi politic agitat [186]. Această istorie nu poate fi expusă aici, dar vrem să subliniem numai părţile constitutive care joacă un rol important în construcţia punţii de legătură dintre fiinţă şi devenire. Aceasta este ţinta noastră majoră.

Naşterea mecanicii cuantice a constituit o parte a căutării acestei punţi de legătură. Planck a studiat interacţiunea dintre materie şi radiaţie. La originea lucrărilor lui Planck a stat ambiţia de a realiza pentru interacţiunea materie-lumină ceea ce Boltzmann a realizat pentru interacţiunea materie-materie, şi anume, să descopere un model cinetic pentru procesele ireversibile care duc la echilibru [187]. Spre surprinderea sa, a fost obligat, pentru a înţelege rezultatele experimentale, să presupună că un schimb de energie între materie şi radiaţie apărea doar în paşi discreţi implicînd o nouă constantă universală.. Această constantă universală *h* măsoară „distanţa" fiecărui pas.

---

[186] Feuer a demonstrat destul de convingător felul în care contextul cultural al tinereţii lui Bohr ar fi putut să-l ajute în hotărîrea sa de a căuta un model nemecanicist al atomului (*Einstein and the Generation of Science*, New York, Basic Books, 1974). Vezi şi Heisenberg W., *Physics and Beyond*, New York, Harper and Row, 1971 şi Serwer D., „Unmechanischer Zwang: Pauli, Heisenberg and the Rejection of the Mechanical Atom 1923—1925", în *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 8, 1977, p. 189—256.

[187] În *„Black-Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894—1912* (Clarendon Press and Oxford University Press, Oxford and New York 1978) Thomas Kuhn a arătat foarte bine cît de fidel a aplicat Planck tratamentul statistic de ireversibilitate al lui Boltzmann în propria sa lucrare.

Din nou sfidarea lansată de ireversibilitate a contribuit la un progres decisiv în fizică.

Descoperirea lui Planck a rămas izolată pînă cînd Einstein a prezentat prima interpretare generală a constantei lui Planck. El a înţeles că aceasta are implicaţii vaste în ceea ce priveşte natura luminii. El a introdus un concept revoluţionar: dualismul undă-particulă al luminii.

Încă din secolul al XVII-lea, lumina era asociată cu proprietăţile ondulatorii, aşa cum se manifestă ele în fenomene ca difracţia sau interferenţa. Totuşi, la sfîrşitul secolului al XIX-lea, s-au descoperit fenomene noi, cunoscutul efect fotoelectric, emiterea de electroni ca rezultat al absorbţiei luminii. Aceste noi rezultate experimentale erau greu de explicat pe baza proprietăţilor ondulatorii tradiţionale ale luminii. Einstein a rezolvat problema presupunînd că lumina poate fi *atît* undă cît şi particulă şi că aceste două aspecte sînt legate prin constanta lui Planck. Mai precis, o undă de lumină se caracterizează prin frecvenţa sa ν şi prin lungimea de undă λ; h ne permite să trecem de la frecvenţa şi lungimea de undă la cantităţi mecanice cum ar fi energia ε şi momentul p. Relaţia dintre λ, pe de o parte şi ε, p pe de altă parte, este foarte simplă: $\varepsilon = h\nu$, $p = h/\lambda$ şi amîndouă îl implică pe h. Acest dualism undă-particulă a fost extins douăzeci de ani mai tîrziu de Louis de Broglie de la lumină la materie, şi a devenit punctul de plecare al formulării moderne a mecanicii cuantice.

Înainte de aceasta, în 1913, Niels Bohr a legat noua fizică cuantică de structura atomilor şi mai tîrziu a moleculelor. Ca urmare a dualismului undă-particulă, el a demonstrat că există secvenţe discrete de orbite electronice.

Cînd atomul este excitat, electronul sare de pe orbita sa pe o alta. Chiar în acest moment el emite sau absoarbe un foton, a cărui frecvenţă corespunde cu diferenţa dintre energiile ce carac-

terizează mișcarea electronului pe ficcare dintre cele două orbite. Această diferență este calculată în conformitate cu formula lui Einstein, care leagă energia de frecvență.

Am ajuns acum la perioada decisivă dintre anii 1925—1927, o „perioadă de aur"a fizicii. De-a lungul acestei scurte perioade, Heisenberg, Born, Jordan, Schrödinger și Dirac au transformat fizica cuantică într-o teorie nouă, consistentă. Această teorie încorporează dualismul undă-particulă al lui Einstein și Broglie în cadrul unei forme noi, generalizate a dinamicii: mecanica cuantică. Pentru noi, acum, noutatea conceptuală a mecanicii cuantice este esențială.

Înainte de toate a trebuit introdusă o nouă formulare, necunoscută în fizica clasică, care să permită să încorporeze în limbajul teoretic „cuantificarea". Cel mai important lucru este faptul că un atom se poate găsi doar în stări cu nivele de energie discrete, corespunzătoare unor orbite de electroni diferite. În speță, aceasta înseamnă că energia (sau hamiltonianul) nu mai poate fi o funcție de poziție și moment ca în mecanica clasică. Astfel, dînd pozițiilor și momentelor valori ușor diferite, energia ar putea varia continuu. Dar, experimentul dezvăluie numai existența nivelelor energetice discrete.

Trebuie, prin urmare, să înlocuim ideea convențională conform căreia hamiltonianul este o funcție a poziției și momentelor cu ceva nou; ideea de bază a mecanicii cuantice constă în a exprima că hamiltonianul ca și alte cantități ale mecanicii clasice, cum sînt coordonatele — sau momentele — ,devin acum *operatori*. Aceasta este una din ideile cele mai îndrăznețe care au fost introduse vreodată în istoria științei, și am dori ca cititorul să se familiarizeze cu ea, deoarece o vom folosi în capitolul al IX-lea.

De fapt, este o idee simplă, chiar dacă la început pare a fi într-o oarecare măsură abstractă. Trebuie să distingem operatorul — o operație matematică — și obiectul asupra căruia acesta ope-

rează — o anumită funcție. Ca exemplu, să luăm ca „operator" matematic derivata reprezentată de d/dx și să presupunem că ea acționează asupra unei funcții, să spunem x^2; rezultatul acestei operații este o *nouă* funcție, de această dată „$2x$". Totuși, anumite funcții se comportă într-un anumit fel față de operația de derivare. De exemplu, derivarea lui „e^{3x}" este „$3e^{3x}$", adică regăsim funcția originală multiplicată simplu cu un număr, aici *3*. Funcțiile care se reproduc prin aplicarea unui operator dat sînt cunoscute sub denumirea de „funcții-proprii" ale acestui operator, iar numerele prin care funcția-proprie se multiplică după aplicarea operatorului sînt „valorile-proprii" ale operatorului.

Fiecărui operator îi corespunde astfel un ansamblu, un „rezervor" de valori numerice; acest ansamblu formează *„spectrul"* său. Acest spectru este „discret" cînd valorile-proprii formează o serie discretă. Există, de exemplu, un operator ale cărui valori-proprii sînt toate numere întregi 0, 1, 2 ... Un spectru poate fi continuu și cînd e format, spre exemplu, din toate numerele între 0 și 1.

Conceptul de bază al mecanicii cuantice important pentru noi aici poate fi exprimat după cum urmează: tuturor cantităților fizice din mecanica clasică le corespunde în mecanica cuantică un operator, și valorile numerice pe care le pot lua aceste cantități fizice sînt valorile-proprii ale acestui operator. Esențial este faptul că conceptul de cantitate fizică (reprezentată de un operator) este acum diferit de cel al valorilor lui numerice (reprezentate de valorile-proprii ale operatorului). În particular, energia va fi acum reprezentată de operatorul Hamilton și nivelele, adică valorile energiei observate, vor fi identificate cu valorile-proprii care corespund acestui operator.

Introducerea operatorilor a deschis fizicii o lume microscopică de o neașteptată bogăție și este, desigur, un neajuns al lucrării de față faptul că nu acordă mai mult spațiu acestui fascinant subiect în care imaginația creatoare și observația

experimentală se îmbină atît de reușit. Aici vrem doar să accentuăm că mecanica cuantică a dovedit că lumea microscopică este guvernată de legi care au o nouă structură, prin urmare, punînd odată pentru totdeauna capăt speranței de a descoperi o singură schemă conceptuală comună tuturor nivelelor de descriere.

Un nou limbaj matematic, care s-a inventat pentru a exprima o anumită situație, poate deschide acum un cîmp de explorare, plin de surprize, mult peste așteptările inventatorilor lui. Acest lucru a fost valabil pentru calculul diferențial care stă la baza formulării dinamicii clasice. Este, de asemenea, valabil și pentru calculul cu operatori. Noua structură a mecanicii cuantice, care a luat naștere datorită descoperirilor experimentale, s-a dovedit curînd a avea un conținut nou.

Astăzi, după mai bine de cincizeci de ani, ne putem încă pune întrebări despre semnificația operatorilor. Din punct de vedere istoric, introducerea operatorilor este legată de existența nivelurilor de energie, iar azi operatorii se aplică chiar în fizica clasică. Aceasta înseamnă că semnificația lor s-a extins dincolo de așteptările fondatorilor mecanicii cuantice. În mod destul de general, putem spune că operatorii își găsesc în mod normal locul de îndată ce, pentru un motiv sau altul, trebuie îndepărtată noțiunea de traiectorie dinamică și, odată cu ea, descrierea deterministă pe care o implică traiectoria.

4. Relația de incertitudine a lui Heisenberg

Am observat în secțiunea precedentă că fiecărei cantități fizice îi corespunde în mecanica cuantică un operator care acționează asupra unei funcții. Funcțiile-proprii și valorile-proprii care corespund operatorului au o deosebită importanță, ultimele corespunzînd în mod sigur valorilor numerice pe care le poate lua cantitatea fizică. Să urmărim mai îndeaproape tipul de operatori

pe care mecanica cuantică îi asociază cu coordonatele q și momentele p, care sînt, așa cum am văzut în capitolul al II-lea, variabile canonice.

În mecanica clasică, coordonatele și momentele sînt independente, în sensul că putem atribui unei coordonate o valoare numerică destul de independentă de valoarea pe care am dat-o momentului. Însă, constanta lui Planck, h, reduce numărul de variabile independente. Am fi putut ghici acest fapt chiar din relația Einstein — de Broglie $\lambda = h/p$, care leagă, cum am văzut, lungimea de undă de moment. Constanta h exprimă o relație între lungimi (strîns legată de noțiunea de coordonate) și momente. Prin urmare, pozițiile și momentele nu mai pot fi variabile independente ca în mecanica clasică. Mai exact, una din expresiile posibile ale *operatorului* coordonatei și ale *operatorului* de moment este $q_{op} = q$, $p_{op} = h/2\pi i \partial/\partial q$. În acest fel, coordonata rămîne un număr ca în fizica clasică, în timp ce operatorul de moment devine derivată în raport cu coordonata. Există și alte căi de a exprima acești doi operatori fundamentali. Mai important este faptul că în toate cazurile apare doar un tip de cantitate (ori coordonata ori momentul), dar nu amîndouă. În acest sens se poate spune că introducerea mecanicii cuantice împarte numărul de variabile ale mecanicii clasice printr-un divizor de *2*.

Există o proprietate fundamentală care rezultă din această introducere de operatori în mecanica cuantică: cei doi operatori, q_{op}, P_{op}, *nu comută*. În mod evident, contează dacă întîi multiplicăm o funcție prin coordonată și apoi facem derivata produsului sau dacă întîi facem derivata și apoi multiplicăm cu coordonata. Această proprietate matematică de non-comutativitate are o semnificație profundă care, de fapt, trece dincolo de mecanica cuantică, ori de cîte ori trebuie să folosim un formalism de operatori (vom vedea un exemplu necuantic în capitolul următor): numai operatorii care comută admit funcții-proprii co-

mune. Prin urmare, nu putem găsi o funcție care să fie o funcție-proprie atît a coordonatei cît și a momentului. Ca urmare a definiției operatorilor de coordonată și moment, în mecanica cuantică nu poate exista nici o stare în care cantitățile fizice, coordonata q și momentul p să aibă amîndouă valori bine definite. Această situație, nemaiauzită în mecanica clasică, este exprimată de celebrele relații de incertitudine ale lui Heisenberg. Putem măsura o coordonată și un moment, dar erorile care se vor introduce, Δq Δp, sînt legate de inegalitatea lui Heisenberg Δq $\Delta p \geqslant h$. Putem să-l facem pe Δq cît de mic vrem, dar atunci Δp tinde spre infinit și invers.

Există o întreagă literatură despre relațiile de incertitudine și, de aceea, discuția noastră se simplifică. Vrem totuși să dăm cititorului o imagine a noului tip de problemă care apare prin folosirea operatorilor. Relația de incertitudine a lui Heisenberg pe care tocmai am descris-o ne conduce în mod necesar la revizuirea conceptului de cauzalitate. Să presupunem că determinăm în mod precis coordonata; acest lucru este posibil. Dar atunci, datorită relației lui Heisenberg, momentul poate lua o valoare arbitrară, pozitivă sau negativă, cît de mare vrem. Cu alte cuvinte, chiar în momentul următor, poziția obiectului poate fi arbitrar diferită. În mod evident, însăși semnificația localizării devine neclară. Vedem acum cît de profund se schimbă conceptele pe baza cărora a fost fondată mecanica clasică.

Consecințele mecanicii cuantice au apărut ca inacceptabile pentru mulți fizicieni, inclusiv Einstein, și la început au fost sugerate multe experimente ideale pentru a accentua consecințele absurde ale mecanicii cuantice. Alții au încercat să minimalizeze schimbarea conceptuală implicată. În special, s-a sugerat adesea că fondarea mecanicii cuantice este legată într-un anumit fel de perturbațiile introduse de către observație. Sistemul ar deține atunci în mod intrinsec valori bine-definite ale parametrilor mecanici cum sînt coordonatele și momentele; doar unele dintre ele

s-ar transforma, prin măsurare, în particule fine și ușoare. Relația de incertitudine a lui Heisenberg ar exprima această perturbație în funcție de procesul de măsurare. Realismul clasic ar rămîne intact la nivel fundamental. Ar trebui pur și simplu să adăugăm o interdicție a caracterului pozitivist. Acum, această interpretare ni se pare greșită. Nu procesul de măsurare este acela care strică rezultate prin constanta lui Planck. Departe de acest lucru, ceea ce constanta lui Planck ne forțează să facem este tocmai o revizuire a conceptelor de bază ale coordonatelor sau momentelor. Acest lucru a fost confirmat de unele experimente recente destinate să testeze ipoteza variabilelor locale ascunse implicate de interpretarea, în funcție de perturbație, a unui fenomen ascuns definit clasic[188]. Rezultatele experimentelor confirmă consecințele remarcabile ale mecanicii cuantice.

Sensul mai simplu în care putem vorbi despre localizarea unui obiect în mecanica cuantică implică, așa cum a subliniat de nenumărate ori Niels Bohr, faptul că trebuie să renunțăm la realismul fizicii clasice. Pentru el constanta lui Planck definește ca inseparabilă interacțiunea dintre un sistem cuantic și dispozitivul de măsurare. Putem atribui valori numerice fenomenului cuantic ca întreg care include și interacțiunea măsurării. Toate descrierile implică astfel o selectare a dispozitivului de măsurare, o selectare a întrebării pe care o punem. În acest sens, răspunsul, rezultatul măsurării, nu ne dă acces la o realitate dată. Trebuie să decidem ce tip de măsurare vom folosi și ce fel de întrebare vom pune sistemului. Există astfel o multitudine ireductibilă de reprezentări pentru un sistem, fiecare fiind legată de un ansamblu determinat de operatori.

---

[188] Despre cadrul conceptual al testelor experimentale concepute recent pentru variabilele ascunse în mecanica cuantică, vezi D'Espagnat B. *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, ediția a II-a completată, Reading, Mass., Benjamin, 1976. Vezi și D'Espagnat B., "The Quantum Theory and Reality", în *Scientific American*, vol. 241, p. 128—140, 1979.

Acest lucru ne conduce spre o abatere de la obiectivitatea clasică deoarece punctul de vedere clasic sugerează faptul că singura descriere „obiectivă" era descrierea completă a *sistemului așa cum se prezintă*, independent de alegerea modului de observare.

Bohr a subliniat permanent noutatea unei alegeri *pozitive* introdusă prin măsurare în mecanica cuantică. Fizicianul trebuia să-și aleagă limbajul, să-și aleagă dispozitivul macroscopic experimental. Bohr a exprimat această idee cu ajutorul principiului complementarității [189], care se considera ca o extindere a relațiilor de incertitudine ale lui Heisenberg. Putem să măsurăm coordonate sau momente, dar nu pe amîndouă odată. Nici un limbaj teoretic, care leagă variabilele cărora le poate fi atribuită o valoare bine definită, nu poate epuiza conținutul fizic al unui sistem. Diferitele limbaje și puncte de vedere posibile sînt complementare. Ele toate se ocupă de aceeași realitate, deși este imposibil să le reducem la o singură descriere. Această natură ireductibilă a punctelor de vedere ale uneia și aceleiași realități exprimă imposibilitatea de a descoperi un punct de vedere din care totalitatea realității este în mod simultan vizibilă. Lecția principiului complementarității nu este totuși o lecție de resemnare, Bohr obișnuia să spună că nu se putea gîndi la semnificația mecanicii cuantice fără a se simți cuprins de amețeală și, într-adevăr, această gîndire reprezintă o smulgere amețitoare din obiceiuri ; realitatea este prea bogată și elementele prea complexe pentru ca un singur proiector să le poată lumina în totalitate.

Adevărata lecție care trebuie reținută din principiul complementarității, și care poate fi transferată și altor domenii de cunoaștere, constă în a sublinia bogăția realității care inundă toate

---

[189] Vezi, pentru principiul complementarității, D'Espagnat B., *op. cit.*, Jammer M., *The Philosophy of Quantum Mechanics*, New York, Wiley, 1974 și Petersen A., *Quantum Mechanics and the Philosophical Tradition*, Boston, MIT Press, 1968.

limbajele posibile, toate structurile logice. Fiecare limbaj poate să exprime doar o parte a ei. Muzica nu se epuizează prin nici unul din stilurile ei de la Bach pînă la Schoenberg.

Am subliniat importanța conceptului de operator și de complementaritate pentrù că, în această carte, sîntem interesați de acele aspecte ale științei a căror importanță trece dincolo de cadrul științific și tehnic propriu-zis. Unul din motivele opoziției dintre cele „două culturi" ar fi putut fi credința că literatura corespunde unei conceptualizări a realității, unei „ficțiuni", în timp ce știința pare să exprime „realitatea" obiectivă. Încă din momentul formulării mecanicii cuantice știm că atingem „realitatea" numai după o conceptualizare în funcție de operatori. Odată cu apariția mecanicii cuantice, știința ca dialog între om și natură a luat cea mai neașteptată turnură.

5. Lumea tăcută a mecanicii cuantice

Nu se pune problema, desigur, de a exprima fizica cuantică în termeni clasici. Totuși, ar putea fi interesantă o comparație între unele dintre remarcabilele ei trăsături cu situațiile clasice pentru a ajunge la „sentimente mai bune". În capitolul al VII-lea, secțiunea a 3-a, am introdus deja ideea ansamblurilor lui Gibbs, în care luăm în considerare o colecție de sisteme distribuite în spațiul fazelor. În teoria clasică nimic nu ne împiedică să luăm limita și să ajungem la un punct în spațiul fazic. Pe măsură ce trece timpul, acest punct urmărește traiectoria clasică. Acest lucru nu mai este posibil în mecanica cuantică. Constanta universală h introduce corelații între punctele vecine în spațiul fazic, creînd domenii de interacțiune. Ca urmare, mișcarea în spațiul fazic capătă un fel de caracter colectiv. Devine imposibil să prescrii în mod arbitrar mișcarea punctelor învecinate. Situația este oarecum similară cu cea a unei sfori care vibrează în fizica cla-

sică. Dacă am prescrie arbitrar mișcarea punctelor învecinate, distanța lor relativă ar putea deveni în mod arbitrar mai mare, iar sfoara s-ar rupe în două. Această corelare, această coerență în mișcarea punctelor învecinate este aceea care exprimă noul comportament al materiei introdus de mecanica cuantică. Această coerență face posibilă mișcarea ondulatorie și exprimă, deci, dualismul undă-particulă chiar în miezul mecanicii cuantice. Dar și datorită acestor corelații universul mecanicii cuantice este destul de diferit de lumea traiectoriilor clasice. Acestea pot devia nebunește, se pot angaja într-o mișcare haotică dezordonată. Vom da cîteva exemple în capitolul al IX-lea. Situația este cu totul alta în mecanica cuantică. Mișcarea unui sistem cuantic arbitrar finit este periodică (sau se multiplică periodic). În mecanica cuantică, este mult mai puțin zgomot și mult mai multă armonie [190].

Descrierea pe care am prezentat-o referitor la mecanica cuantică contrastează cu aceea bazată pe ideea așa-numitelor „variabile ascunse", suplimentare, chemate să se ocupe de apariția elementelor statistice în mecanica cuantică: urmînd acest punct de vedere relațiile de incertitudine ar corespunde valorilor medii luate de variabilele ascunse. Numai că mecanica cuantică nu apare ca o teorie cu *mai puține variabile* (din cauza dualismului undă-particulă ce leagă „lungimile" de momente) și nu ca o teorie cu mai multe variabile, fie ele ascunse sau nu. Vom discuta trăsăturile statistice ale mecanicii cuantice în secțiunea următoare, dar vrem să accentuăm faptul că variabilele ascunse vor introduce, într-un fel sau altul, o dezordine în plus în descrierea dată de mecanica cuantică, în contradicție cu faptul că problema specifică descrierii mecanicii cuantice constă într-o descriere mai „ordonată" decît descrierea clasică.

---

[190] George C. și Prigogine I., "Coherence and Randomness in Quantum Theory", în *Physics*, 99A, 1979, p. 369—382.

6. Evoluția în timpul sistemelor cuantice

Pînă acum am considerat descrierea cuantică la un moment dat. Vrem să descriem evoluția în timp a sistemelor cuantice.

Ca și în mecanica clasică, Hamiltonianul joacă un rol fundamental. Este înlocuit acum de operatorul Hamiltonian H_{op} care joacă un rol central în mecanica cuantică. Pe de o parte, valorile sale proprii corespund nivelelor de energie. Pe de altă parte, ca și în mecanica clasică, operatorul Hamilton determină evoluția în timp a sistemului. În mecanica cuantică rolul ecuației canonice a mecanicii clasice este jucat de ecuația Schrödinger, care exprimă evoluția în timp a funcției care caracterizează starea cuantică ca rezultat al aplicărilor operatorului H_{op} asupra funcției de undă ψ (există, bineînțeles, formulări alternative ale mecanicii cuantice pe care nu le putem da aici). Denumirea de „funcție de undă" a fost aleasă pentru a sublinia încă o dată dualismul undă-particulă atît de important în fizica cuantică. ψ este o *amplitudine a undei* care evoluează în acord cu ecuația de tip particulă, deoarece evoluția sa este determinată de Hamiltonian. Ecuația lui Schrödinger, ca și ecuația canonică a fizicii clasice, determină o evoluție *reversibilă* și *deterministă*. Schimbarea reversibilă a funcției de undă corespunde unei mișcări reversibile de-a lungul traiectoriei. Pe de altă parte, dacă se cunoaște funcția de undă la un moment dat, ecuația lui Schrödinger ne dă posibilitatea s-o calculăm pentru orice moment anterior sau ulterior; situația este, din acest punct de vedere, strict asemănătoare cu cea din mecanica clasică. Acest lucru se datorează faptului că relațiile de incertitudine ale mecanicii cuantice nu includ timpul. Acesta este încă un număr, nu un operator, și numai operatorii sînt aceia care pot apărea în relațiile de incertitudine ale lui Heisenberg. La problema timpului ca operator vom reveni în capitolul următor.

Am menţionat deja că în mecanica cuantică ne ocupăm numai de jumătate din variabilele mecanicii clasice. Ca urmare, determinismul clasic trebuie înfrînt şi, într-adevăr, în fizica cuantică consideraţiile statistice joacă un rol central. Intensitatea undei $|\psi|^2$ este cea prin care putem să luăm contact cu consideraţiile statistice. $|\psi q)|^2$ determină probabilitatea găsirii unei particule într-o poziţie q dată.

În general ψ nu va fi funcţia proprie a unui operator dat, de exemplu, energia. Dar poate fi exprimată ca suprapunerea acestor funcţii proprii. Ponderea cu care apare o funcţie proprie dată în această suprapunere ne permite să calculăm probabilitatea ca diferite valori proprii posibile să apară într-o experienţă.

Putem observa din nou, aici, o îndepărtare fundamentală de la teoria clasică. Se pot prevedea doar probabilităţile nu şi evenimentele singulare. Din punct de vedere istoric, probabilităţile de ordinul doi au fost introduse pentru a explica unele caracteristici de bază ale naturii. Probabilităţile de ordinul întîi au fost folosite la interpretarea entropiei de către Boltzmann. Dar acolo, după cum am văzut, a predominat un punct de vedere subiectiv. Doar complexitatea ar putea fi aceea care ne-ar putea împiedica să atingem nivelul fundamental al descrierii mecanice. În capitolul al IX-lea vom vedea că astăzi putem depăşi această atitudine subiectivistă. În mod similar, aici, folosirea probabilităţilor a apărut multor fizicieni ca neacceptabilă, inclusiv lui Einstein, care dorea să ajungă la o descriere deterministă „completă". Exact ca şi faţă de problema ireversibilităţii, părea să ne atragă o soluţie — *noi* ar trebui să fim răspunzători într-un anumit fel de comportamentul statistic în lumea cuantică, după cum tot noi ar trebui să fim răspunzători de ireversibilitate.

Ajungem astfel din nou la problema variabilelor ascunse. Totuşi, după cum am mai spus, nici o probă experimentală nu a justificat pînă acum

introducerea acestor variabile, iar rolul probabilităților pare a fi ireductibil.

Există un singur caz cînd ecuația lui Schrödinger ne conduce spre o prezicere deterministă, și asta se întîmplă cînd ψ, în loc să fie o *suprapunere* de funcții proprii, *se reduce* la una singură. În special, într-un proces de măsurare ideal se poate pregăti astfel un sistem în care rezultatul unei măsurători date să poată fi anticipat. Atunci știm că sistemul se descrie cu ajutorul funcției proprii corespunzătoare.

Procesul măsurării are o semnificație specială în mecanica cuantică, ceea ce atrage după sine un deosebit interes astăzi. Să presupunem că începem cu o funcție de undă, care este, într-adevăr, o suprapunere de funcții proprii. Procesul de măsurare ideal înlocuiește această funcție de undă unică printr-o colecție de funcții de undă corespunzătoare diferitelor valori proprii care pot fi măsurate. În termeni tehnici, o măsurare ne conduce de la o singură funcție de undă (o stare „pură") la un amestec.

Precum au atras atenția în mod repetat N. Bohr și L.Rosenfeld[191], fiecare măsurare conține un element de *ireversibilitate*, un recurs la fenomenele ireversibile cum ar fi, de exemplu, procesele chimice corespunzătoare înregistrării „datelor". Înregistrarea este însoțită de o asemenea amplificare încît un eveniment microscopic produce un efect la nivel macroscopic, adică la un nivel observabil la care putem citi instrumentele de măsură. *Fenomenul* cuantic presupune ireversibilitatea.

Acest lucru este, într-o oarecare măsură, adevărat în mecanica clasică. Totuși, problema caracterului ireversibil al măsurării este mai importantă în mecanica cuantică pentru că pune întrebări însuși nivelului formulării ei. Așa cum am menționat, procesul ideal de măsurare „reduce" funcția de undă ψ (în general exprimată înaintea măsură-

---

[191] Rosenfeld L., "The Measuring Process in Quantum Mechanics" în *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, 1965, p. 222.

rii printr-o suprapunere de funcţii proprii ale operatorului ce corespunde cantităţii fizice care trebuie măsurată) la doar una din aceste funcţii proprii. Sistemul se poate descrie atunci ca fiind în starea proprie indicată de rezultatul măsurării. Acest proces de *reducere* a funcţiei de undă ψ la una din componentele sale nu este reversibil. Prin urmare, el nu poate fi reprezentat de ecuaţia lui Schrödinger.

În mod obişnuit se consideră că în această situaţie mecanica cuantică nu are altă soluţie decît să accepte coexistenţa celor două tipuri de evoluţie, reciproc ireductibile — evoluţia reversibilă şi continuă descrisă de ecuaţia lui Schrödinger şi reducerea ireversibilă şi discontinuă în timpul măsurării. Deoarece ecuaţia reversibilă a lui Schrödinger poate fi testată doar prin măsurători ireversibile, ceea ce *prin definiţie* nu se poate descrie, atît evoluţiile reversibile cît şi cele ireversibile ar fi, conform acestei concepţii, legate inextricabil. Ar fi deci imposibil pentru mecanica cuantică să stabilească o structură închisă, în special cu speranţa de a lega toate evoluţiile fizice de o transformare deterministă şi reversibilă de la o stare la alta. În faţa acestor dificultăţi, unii fizicieni s-au refugiat încă o dată în subiectivism, explicînd că *noi*, adică măsurătorile *noastre* şi chiar, pentru unii, mintea *noastră*, este aceea care determină evoluţia sistemului care încalcă legea reversibilităţii naturale, „obiective" [192]. Alţii au ajuns la concluzia că ecuaţia lui Schrödinger nu este „completă" şi că trebuie adăugaţi alţi termeni la ea pentru a lua în considerare ireversibilitatea măsurării. S-au făcut, de asemenea, sugestii fantastice pentru a lămuri această dificultate, cum ar fi ipoteza mai multor lumi a lui Everett (vezi d'Espagnat, nota 188). Pentru noi, problema suplimentară

---

[192] Despre paradoxurile mecanicii cuantice, care pot fi în mod just numite coşmarurile minţii clasice, deoarece toate (pisica lui Schrödinger, prietenul lui Wigner, universurile multiple) fac să renască eternul Phoenix al unei teorii „obiective şi închise" (de data asta întruchipată de ecuaţia lui Schrödinger), vezi cărţile lui d'Espagnat şi Jammer.

ridicată de mecanica cuantică, adică coexistența dintre reversibilitate și ireversibilitate dovedește faptul că idealizarea clasică care a dus la descrierea lumii dinamice ca fiind „izolată" este imposibil de îndeplinit în ceea ce privește lumea microscopică. Acest lucru l-a subliniat Bohr cînd a arătat că limbajul pe care-l folosim pentru a descrie sistemul cuantic nu se poate separa de conceptele macroscopice care descriu funcționarea instrumentelor noastre de măsură. Ecuația lui Schrödinger nu descrie un nivel separat al realității; ea presupune lumea macroscopică în care trăim.

Problema măsurătorilor în mecanica cuantică este astfel un aspect, la nivelul mecanicii cuantice, al uneia dintre problemele căreia îi este dedicată această carte, și anume, legătura dintre lumea simplă a traiectoriilor hamiltoniene și a ecuației lui Schrödinger pe de o parte, și lumea macroscopică, a proceselor ireversibile, pe de alta.

În capitolul următor vom vedea că în fizica clasică ireversibilitatea începe cînd idealizarea implicată în conceptul de traiectorie devine neadecvată. Problema măsurării în mecanica cuantică poate avea același tip de rezolvare [193]. Într-adevăr, funcția de undă reprezintă cunoașterea maximală corespunzătoare unui sistem cuantic. Ca și în fizica clasică, obiectul acestei cunoașteri maximale satisface o ecuație de evoluție reversibilă. În ambele cazuri, ireversibilitatea începe cînd obiectul ideal corespunzător cunoașterii maximale trebuie să fie înlocuit de concepte mai puțin idealizate, așa cum le pot descrie ansamblurile statistice. Dar cînd se întîmplă acest lucru? Aceasta este chiar problema mecanismelor fizice ale ireversibilității, spre care ne îndreptăm acum atenția. Dar mai înainte să recapitulăm unele dintre caracteristicile de bază ale reînnorii științei contemporane.

---

[193] Misra B., Prigogine I. și Courbage M., "Lyapounov Variable: Entropy and Measurement in Quantum Mechanics" în *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A.*, vol. 76, 1979, p. 4678—4772.

7. Redescoperirea timpului

Cele două revoluții științifice pe care le-am descris în acest capitol au debutat ca încercări de a încorpora constantele universale, c și h, în cadrul mecanicii clasice. Aceasta a dus la consecințe de mare răsunet din care unele au fost descrise aici. Din alte puncte de vedere, relativitatea și mecanica cuantică păreau că se alătură imaginii fundamentale a lumii exprimate de mecanica newtoniană. Acest lucru este adevărat mai ales în ceea ce privește rolul și înțelesul timpului. În mecanica cuantică, odată ce se cunoaște funcția ondulatorie la timpul zero, valoarea ei ψ (t) se determină atît pentru viitor cît și pentru trecut. De asemenea, în relativitate caracterul geometric *static* al timpului este adesea subliniat de folosirea noțiunii cvadridimensionale (trei dimensiuni pentru spațiu și una pentru timp). După cum se exprima Minkovski în 1908, „spațiul și timpul în sine sînt condamnate să se estompeze pur și simplu; și doar un fel de uniune între cele două va putea păstra realitatea independentă“ ... „doar o lume în sine va dăinui“ [194].

Dar pe parcursul ultimelor decenii situația s-a schimbat radical. Mecanica cuantică a devenit instrumentul principal care se ocupă de particulele elementare și de transformările lor. Scopul acestei cărți însă nu este acela de a descrie lumea tulburătoare a particulelor elementare care a fost deschisă de-a lungul ultimilor ani.

Ne limităm la a aminti că folosind atît mecanica cuantică cît și relativitatea, Dirac a putut să demonstreze că trebuie să asociem fiecărei particule de masă m și sarcina e, o antiparticulă de aceeași masă, dar cu sarcină opusă. Pozitronii, antiparticulele electronilor, ca și antiprotonii, se produc acum în acceleratoare de mare energie. Antimateria a devenit un subiect obișnuit de stu-

---

[194] Minkovski H., "Space and Time", în *The Principles of Relativity*, New York, Dover, 1923.

diu în fizica particulelor experimentale. Particulele și respectiv antiparticulele lor cînd se ciocnesc, fotonii se anihilează și produc particulele fără masă corespunzînd luminii. Ecuațiile teoriei cuantice sînt simetrice în ceea ce privește schimbul particulă-antiparticulă (acest lucru nu este întru totul adevărat: ele sînt simetrice privitor la o cerință mai slabă cunoscută ca simetria CPT, dar acest lucru este irelevant pentru ceea ce urmează). În ciuda simetriei ecuației, există o disimetrie remarcabilă între particulele și antiparticulele din lumea înconjurătoare. Sîntem alcătuiți din particule (electroni, protoni) în timp ce antiparticulele sînt produse rare de laborator. Dacă ar coexista în cantități egale particulele și antiparticulele, întreaga materie s-ar anihila. Există în galaxia noastră o dovadă puternică împotriva antimateriei, dar nu se poate exclude existența ei în alte galaxii foarte îndepărtate. Ne-am putea imagina, în mod evident, un mecanism în univers care să separe particulele și antiparticulele sau care să ascundă undeva antiparticulele. Totuși, pare mult mai probabil că trăim într-un univers „nesimetric" cu o puternică dominație a materiei asupra antimateriei.

Cum este posibil acest lucru? Un model care explică această situație a fost prezentat pentru prima oară în 1966, iar acum se lucrează foarte mult în această direcție. Un element esențial al acestui model constă în faptul că, în momentul formării materiei, universul trebuia să fi fost în condiții de *nonechilibru*. La echilibru legea acțiunii masei, pe care am prezentat-o în capitolul al V-lea, ar fi necesitat cantități egale de materie și antimaterie.

Ceea ce vrem să subliniem aici este faptul că problema nonechilibrului capătă o dimensiune nouă, cosmologică. Fără nonechilibru, universul ar fi fost o structură complet diferită. N-ar fi existat o cantitate apreciabilă de materie, ci doar

un exces local fluctuant de materie pentru antimaterie sau invers.

De la o teorie mecanică corectată pentru a lua în considerare existența constantei universale h, teoria cuantică s-a dezvoltat într-o teorie a transformărilor reciproce de particule elementare. În încercările recente de a formula o „teorie unificată a particulelor elementare" se sugerează chiar că toate particulele materiale, inclusiv protonul, sînt instabile (totuși, viața unui proton ar fi enormă, de ordinul a 10^{30} ani). Mecanica clasică în loc de a fi nivelul fundamental de descriere, devine doar o aproximație, utilă datorită intervalelor de timp îndelungate din viața unor particule elementare cum sînt protonii.

Teoria relativității a trecut prin același tip de transformări. Așa cum am menționat, ea a luat naștere ca o teorie geometrică care a subliniat puternic caracteristicile eterne. Astăzi ea constituie instrumentul principal de studiu al istoriei termice a universului, pentru a ne oferi nouă un punct de reper privitor la mecanismele care ne-au condus spre structura actuală pe care o observăm în univers. Problema timpului, a ireversibilității a căpătat, prin urmare, o nouă urgență.

Pornind din domeniul ingineriei, al chimiei aplicate, unde a fost formulată la început, s-a răspîndit în întreaga fizică, de la particulele elementare pînă la cosmologie.

Ne aflăm, prin urmare, într-o situație paradoxală. Pe de o parte, nu se mai poate pune la îndoială importanța proceselor ireversibile. Pe de altă parte, cum am observat în capitolul al VII-lea, încercările timpurii de a incorpora ireversibilitatea în legile dinamicii au eșuat și a predominat un punct de vedere subiectivist. Se pare deci că este momentul oportun să adoptăm încercarea lui Boltzmann, folosind progresele conceptuale furnizate de reînnoirea fizicii moderne.

Capitolul IX

Cronometrarea spațiului

1. Vîrtejul timpului

Timpul se scurge într-o singură direcție, din trecut spre viitor. Nu putem manipula timpul, nici nu putem călători înapoi în trecut. Călătoria prin timp i-a preocupat pe scriitori de la *O mie și una de nopți* pînă la *Mașina timpului* a lui H. G. Wells. Mai recent, în scurtul său roman, *Look at the Harlequins !*, Nabokov descrie chinul unui povestitor care și-a dat seama că este incapabil să se transfere dintr-o direcție spațială în alta, așa cum implică „vîrtejul timpului" [195]. În volumul V al lucrării *Science and Civilization in China*, Needham descrie visul alchimiștilor chinezi: țelul lor suprem nu era să realizeze transmutarea metalelor în aur, ci să acționeze asupra timpului, să atingă nemurirea printr-o încetinire radicală a proceselor de descompunere naturală.

Am discutat deja pe larg rolul remarcabil pe care l-a jucat timpul în filozofia occidentală. Același lucru este valabil și pentru literatura occidentală [196].

Ajungem acum la esența problemei. Trebuie să atacăm întrebarea: „Ce este timpul?". Ne vom limita la acceptarea opoziției, tradiționale, de la Kant încoace, dintre timpul static al fizicii clasice și timpul existențial pe care-l experimentăm de-a lungul vieții? Sau vom putea oare să le pronunțăm? În amintirile lui Carnap putem citi următoarele:

„Odată Einstein a spus că problema lui Acum îl preocupa serios. El explica că experiența lui Acum înseamnă ceva special pentru om, ceva esențial diferit de trecut și de viitor, dar că această

---

[195] Citat și comentat în Gardner M., *The Ambidextrous Universe*, p. 271—272.

[196] Poulet G., *Etudes sur le temps humain*, I, II, III, IV, Paris, Plon.

diferență importantă nu există și nu poate apărea în fizică, că această experiență nu poate fi înțeleasă căci el considera știința ca fiind o chestiune de abandonare dureroasă dar inevitabilă. Am remarcat că tot ceea ce apare în mod obiectiv se poate descrie în știință; pe de o parte succesiunea temporală de evenimente este descrisă în fizică; și pe de altă parte, particularitățile experienței umane în funcție de timp, incluzînd atitudinea diferită față de trecut, prezent și viitor, pot fi descrise și explicate (în principiu) în psihologie. Numai că Einstein credea că aceste descrieri științifice nu pot satisface necesitățile umane; că exista ceva esențial despre Acum care se află în afara domeniului științei" [197].

Este interesant că Bergson, urmînd într-un fel o cale opusă, ajunge de asemenea la o concluzie dualistă (vezi capitolul III). Bergson a început și el cu un timp subiectiv, apoi a studiat timpul în natură și timpul concretizat de fizică. Pentru el această concretizare a dus la o sărăcire a timpului. Timpul existențial intern are trăsături calitative care se pierd în acest proces. Din acest motiv Bergson a introdus distincția dintre timpul științific și durata naturală a lucrurilor și a creat o imagine a lumii bazată pe această dualitate.

Totuși, nu ne putem opri aici. După cum afirma și J. T. Fraser, „Dicotomia ce rezultă între timpul simțit și timpul înțeles este o particularitate a civilizației științifice, industriale, un fel de schizofrenie colectivă" [198]. Trebuie, prin urmare, să urmărim noi îndeaproape izvoarele timpului în lumea fizică. Intenționăm să demonstrăm că timpul nu ne opune pe noi universului, că timpul cosmic și cel uman sînt inseparabile. După cum vom vedea, timpul, inclusiv ireversibilitatea,

---

[197] The Philosophy of Rudolf Carnap, ed. Schilpp P.A., Cambridge, University Press, 1963.

[198] Fraser J., "The Principle of Temporal Levels: A Framework for Dialogue?", comunicare la Conferința Scientific Concepts of Time in *Humanistic and Social Perspectives*, Bellagio, July, 1981.

exprimă o structură intrinsecă, un fel de polarizare a universului. Tocmai această polarizare este adusă la nivel macroscopic de către cea de-a doua lege a termodinamicii.

În mod curios, după cum vom vedea, această polarizare își are originea în întîmplare, în dezordinea la nivelul traiectoriilor dinamice (sau a funcțiilor ondulatorii mecanico-cuantice). Structura temporală apare în afara acestui caracter întîmplător și odată cu ea apare și ireversibilitatea și structurile disipative pe care le-am studiat în partea a II-a a acestei lucrări. În ultimă analiză, existența timpului orientat constituie însăși presupoziția pe care se sprijină toate formele de activitate sau de evoluție.

Evident, aceste probleme sînt departe de a fi elementare. Nu putem prezenta dovezi matematice în contextul acestei cărți [199], dar sperăm să oferim cititorului o impresie asupra lucrurilor implicate. Într-un anumit sens, trebuie să completăm programul lui Boltzmann deschis în capitolul al VII-lea. Înainte de a ne angaja pe acest drum, vom rezuma unele trăsături generale macroscopice ale legii entropiei pe care le-am menționat deja în capitolele anterioare ale acestei cărți.

2. Entropia și săgeata timpului

Un aspect important al celei de-a doua legi constă tocmai în relația sa apropiată cu limitele acțiunii noastre asupra lumii fizice. Cea de-a doua lege exprimă, ca și constantele universale, h și c, o limită la manipulări (vezi capitolul VIII, secțiunea întîi). Originea istorică a celei de-a doua legi constă în înțelegerea faptului că avem nevoie de două surse la temperaturi diferite pentru a putea produce lucrul mecanic. O singură sursă nu poate acționa ca un motor termic;

[199] Pentru un studiu mai amănunțit asupra celor ce urmează vezi: Prigogine I., *From Being to Becoming*, San Francisco, Freeman, 1980.

această afirmație este adesea denumită „imposibilitatea" unei mișcări perpetue de categoria a doua. Am observat, de asemenea, că cea de a doua lege exprimă existența schimburilor de entropie necontrolabile asociate cu procesele ireversibile. Putem manipula după voie lumea dinamică descrisă în funcție de traiectorii, dar nu putem forța căldura să se scurgă împotriva gradientului său.

Mai sînt și alte aspecte ale acestei legi pe care am dori să le amintim aici (vezi capitolul IV, secțiunea a 5-a). Într-un sistem izolat toate condițiile de nonechilibru duc spre aceeași stare de echilibru finală. Cea de-a doua lege exprimă, prin urmare, un mecanism de uitare, uitare a condițiilor inițiale. În plus, ea exprimă această uitare într-un mod specific, prin existența unei funcții care se schimbă *monoton* — entropia. Acest lucru nu este nici pe departe evident. Uitarea poate apărea în mod oscilant. Se spune adesea că entropia la echilibru acționează ca un atractor: starea de entropie maximă atrage un sistem izolat din toate stările mai mici de entropie.

În final, există un alt element pe care am dori să-l accentuăm: creșterea entropiei este asociată de o săgeată a timpului; entropia în viitor este mai mare decît entropia în trecut. Este important să disociem două proprietăți pe care tocmai le-am menționat. Putem avea o săgeată a timpului fără existența unui atractor ca entropia, și invers, putem avea „entropie" fără o săgeată a timpului.

Popper ne dă un exemplu de sistem care are un proces unidirecțional și, prin urmare, și o săgeată a timpului.

„Să presupunem că se filmează o suprafață mare de apă inițial liniștită în care apoi se aruncă o piatră. Filmul inversat ne va arăta unde circulare, de amplitudine crescîndă. Mai mult, imediat în spatele crestei undei celei mai mari se va închide spre centru o regiune circulară de apă liniștită. Acesta nu poate fi considerat un proces

clasic posibil. (Ar necesita un număr mare de generatoare coerente depărtate de unde, a căror coordonare, pentru a fi explicabilă, trebuie să fie arătată în film ca pornind din centru). Acest lucru, totuși, implică aceeași dificultate dacă încercăm să inversăm filmul îndreptat" [200].

Credem că Popper avea dreptate. Oricare ar fi mijloacele tehnice, va exista întotdeauna o distanță de la centru dincolo de care nu putem produce o undă care să se contracte; există procese unidirecționale. Se pot imagina multe alte procese de tipul celor prezentate de Popper: niciodată nu vedem energia venind din toate direcțiile pentru a tinde spre o stea cu reacții nucleare inverse și care ar absorbi această energie.

În plus, există alte săgeți ale timpului, de exemplu, săgeata cosmologică (vezi excelenta descriere a lui M. Gardner, nota 195). Dacă presupunem că universul a început cu Marea Bubuitură acest lucru implică, evident, o ordine a timpului la nivel cosmologic. În mod similar, în fizica particulelor elementare există procese care reprezintă așa numita violare-T. Violarea-T presupune că ecuațiile descrise de evoluția sistemului pentru + t sînt diferite de cele descrise de evoluția pentru — t. Totuși, în toate aceste situații nu există în mod necesar o cantitate care să aibă proprietățile entropiei și care ar crește într-un mod monoton.

Invers, există exemple (vom lua în considerare unele dintre ele în secțiunea a 7-a a acestui capitol) unde putem asocia proceselor dinamice funcții similare entropiei, dar fără să putem să le folosim pentru că ne dau o săgeată intrinsecă a timpului. Starea de echilibru ar putea fi, de asemenea, realizată în viitor sau în trecut. Aceasta contravine celei de-a doua legi care recomandă ca toate procesele ireversibile să conducă spre o creștere a entropiei într-o singură direcție. Am observat în capitolul VII că poziția finală a lui Boltz-

---

[200] Popper K., "The Arrow of Time", în *Nature*, vol. 177, 1956, p. 538.

mann a fost aceea de a nega într-adevăr caracterul fundamental al acestei recomandări, și de a acepta imposibilitatea unei distincții fizice între cele două direcții ale timpului. Această poziție este apărată de Schrödinger împotriva acelora care obiectează că acest lucru ar însemna golirea legii a doua de orice semnificație intrinsecă:

„Dacă acest argument este solid, pare a fi fatal, pentru că este îndreptat spre punctul care a fost privit ca virtutea principală a teoriei: să obțină evenimente ireversibile din mecanismele de bază reversibile. Argumentele sînt perfect solide, deși nu sînt încă fatale. Argumentul este valabil cînd susține că ceea ce ține într-o direcție ține de asemenea și în direcția opusă timpului, ceea ce de la început este introdus ca o variabilă perfect simetrică. Dar nu trebuie să trageți concluzia că ea ține, în general, în ambele direcții. În modul de exprimare cel mai prudent se poate spune că în orice caz special ea ține fie pentru o direcție fie pentru alta. La aceasta trebuie să se adauge, în cazul special al luminii, așa cum o cunoaștem, „curgerea" (pentru a folosi o expresie care a fost adoptată ocazional) are loc într-o direcție și aceasta este denumită direcția de la trecut spre viitor. Cu alte cuvinte, teoria statistică a căldurii trebuie lăsată să decidă singură, arbitrar, prin definiție proprie, în ce direcție se scurge timpul. (Aceasta este o consecință momentană pentru metodologia fizicianului. El nu trebuie să introducă nimic care să decidă independent asupra săgeții timpului, altfel frumosul edificiu al lui Boltzmann se năruie [201]).

Contrar lui Schrödinger, noi nu putem accepta să ne oprim în acest punct, care, cum am arătat în capitolul VII, prezintă riscul unei interpretări subiective a entropiei. Problema, pentru noi, va fi să împăcăm ideea unei săgeți obiective a timpului (atît de puternic susținută de Popper de exemplu) cu situația pe care a trebuit s-o înfrunte

---

[201] Schrödinger E., *Mind and Matter*, Cambridge, University Press, 1958, p. 85—86.

Boltzmann, a unei descrieri care implica legile simetrice de timp ale dinamicii.

Relația dintre dinamică și entropie este strîns legată de cea dintre dinamică și probabilități; însăși problema pe care Boltzmann a luat-o în considerare pentru prima dată. Astăzi putem beneficia de reînnoirea remarcabilă a dinamicii clasice care a avut loc în ultimele decenii. Unul din rezultatele cele mai senzaționale la care s-a ajuns și pe care îl vom discuta în detaliu este faptul că conceptul de traiectorie are un domeniu mult mai limitat decît îl avea înainte. Ca urmare, după cum vom vedea, dinamica nu este incompatibilă cu întîmplarea. Putem să efectuăm acum, cel puțin pentru clasele de sisteme simple, trecerea explicită de la teoria dinamică la procesele probabilistice. Totuși, cum am mai spus, aceasta nu este suficient pentru a rezolva problema entropiei în întregime. Trebuie să tratăm, de asemenea, și problema implicată în existența unei săgeți a timpului.

Aici, poate fi utilă analogia cu teoria bifurcației (vezi capitolul V, secțiunea a 6-a). Am menționat relația dintre bifurcație și ruperea de simetrie în procesele nelineare. În ecuațiile care descriu sistemele de difuzie-reacție, stînga și dreapta joacă același rol (ecuația de difuzie rămîne invariantă cînd efectuăm inversarea spațiului $r \rightarrow -r$). Bifurcațiile pot conduce încă la soluții în care această simetrie se rupe. De exemplu, concentrația unora dintre componente poate fi mai mare în stînga decît în dreapta. Simetria ecuațiilor necesită doar ca soluțiile de rupere a simetriei să apară în perechi. Situația este oarecum similară în privința timpului în locul spațiului. Să considerăm două evenimente care au loc în timpul t_0 și t_1. Exprimat în dinamică, nici un eveniment nu este anterior altuia decît prin convenție. De exemplu, un eveniment poate corespunde orei 5 fix pe ceasul meu, celălalt orei 12 fix. Pentru mine ora 12 urmează după ora 5. Totuși, în lumea reversibilă a ceasului această distincție este arbitrară. În mod evident, din cele

două evenimente putem forma două secvențe diferite. Pentru a putea vorbi de o săgeată a timpului bine definită trebuie să selectăm una dintre aceste secvențe.

Există oare o „selecție a naturii" pentru această distincție între trecut și viitor? Aceasta este problema la care trebuie să răspundem.

3. Limitele conceptelor clasice

Să începem cu mecanica clasică. Dacă traiectoria ar fi elementul ireductibil fundamental, lumea ar fi tot atît de reversibilă ca și traiectoriile din care aceasta este formată. În această descriere nu va exista nici entropie și nici săgeata timpului; dar, cum am menționat, unele progrese recente au demonstrat destul de neașteptat că, conceptul de traiectorie este mult mai limitat decît s-a crezut pînă acum. Să începem cu teoria ansamblurilor datorată lui Gibbs și Einstein pe care am descris-o deja în capitolul VII. Am văzut că aceștia au introdus spațiul fazelor în fizica clasică, luînd în considerare faptul că nu „știm" starea inițială a unui sistem dinamic format din mai multe particule. Chiar și pentru ei, funcția de distribuție în spațiul fazelor era doar o construcție auxiliară exprimînd ignoranța noastră *de facto* într-o situație fizică bine determinată *de jure*. Totuși, întreaga poziție a acestei probleme capătă dimensiuni destul de noi de îndată ce se poate demonstra că *pentru anumite tipuri de sisteme* o stabilire infinit de precisă a condițiilor inițiale, așa cum este presupusă de definiția traiectoriei, corespunde unui procedeu autocontradictoriu. Așa stînd lucrurile, faptul că nu cunoaștem niciodată o singură traiectorie ci un grup, un ansamblu de traiectorii în spațiul fazelor, nu este numai un mod de exprimare a limitelor cunoașterii noastre efective, ci devine și un punct de plecare pentru un nou mod de a concepe dinamica.

Am întîlnit deja problema trecerii de la o funcție de distribuție la o traiectorie cînd am studiat

mecanica cuantică. Acolo trecerea era împiedicată de coerența mișcării datorate existenței constantei universale *h*. Aici apare dificultatea opusă. În anumite cazuri, mișcarea poate fi prea haotică pentru a ne permite să executăm într-un mod bine definit trecerea de la o distribuție ρ la un singur punct.

Este foarte adevărat că în cazurile simple nu există nici o problemă. Să luăm exemplul simplu al pendulului. El poate oscila sau se poate roti în jurul axei sale în funcție de condițiile inițiale. Pentru a se roti, energia lui cinetică trebuie să fie destul de mare pentru ca el să nu „cadă" înainte de a atinge poziția verticală. Aceste două tipuri de mișcare corespund unor regiuni separate ale spațiului fazelor. Motivul este foarte simplu: rotația necesită mai multă energie decît oscilația.

Dacă măsurătorile noastre ne permit să stabilim că sistemul se află inițial într-o regiune dată, putem să previzionăm fără grijă tipul de mișcare adoptat de pendul. Putem mări acuratețea măsurătorilor și localiza starea inițială a pendulului

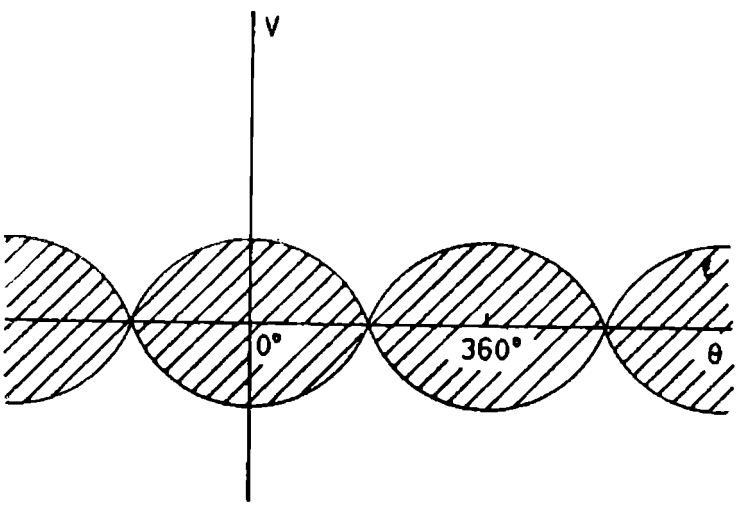

FIG. 32. Reprezentarea unei mișcări a pendulului într-un spațiu unde V este viteza și θ unghiul de deflecție. Punctele din regiunea umbrită aparțin traiectoriilor de oscilație; punctele din afara acestei porțiuni aparțin traiectoriilor de rotație. Un pendul, o stare care aparține de una din cele două curbe care separă cele două regiuni va ajunge la poziția verticală (θ = 180°) cu V = 0.

într-o regiune mai mică din interiorul celei dintîi, dar acest lucru este relativ neimportant. Putem fi siguri de comportamentul sistemelor în tot timpul; nimic nou, neașteptat, nu se poate produce.

Unul din rezultatele cele mai surprinzătoare ale studiilor sistemelor dinamice efectuate în secolul al XX-lea, după impulsul decisiv dat de Henri Poincaré, constă în faptul că, *în general, nu este adevărat* că majoritatea *sistemelor dinamice* se comportă într-un fel destul de diferit [202]. Să desemnăm un tip de traiectorie (de exemplu cea a oscilației) prin + și un alt tip (cel care corespunde rotației) prin *. În locul figurii 32, unde cele două regiuni sînt separate, se găsește, în general, un amestec de stări care face ambiguă tranziția la un singur punct (figura 33). Dacă știm numai că starea inițială a sistemului nostru se află în regiunea *A*, nu putem deduce că traiectoria sa este de tip +; ar putea fi la fel de bine și de tip *. Nu realizăm nimic prin cunoașterea preciziei, prin trecerea de la o regiune A la alta mai mică în cadrul celei dintîi, pentru că nesiguranța rămîne. *În toate regiunile, oricît de mici, există întotdeauna unele stări care aparțin celor două tipuri de traiectorii* [203].

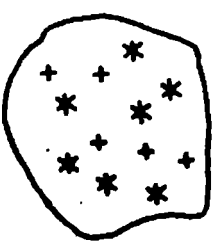

FIG. 33. Reprezentarea schematică a oricărei regiuni, arbitrar mică, a spațiului fazic pentru un sistem care prezintă instabilitate dinamică. Se amestecă două tipuri de traiectorii (cel puțin) care sînt simbolizate prin + și *.

---

[202] Poincaré H., *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, New York, Dover, 1957, Wittaker E. T. *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies*, Cambridge, University Press 1965.

[203] Moser J., *Stable and Random Motions in Dynamical Systems*, Princeton, The University Press, 1974.

Concluzia este următoarea: pentru astfel de sisteme, noțiunea de traiectorie devine *neobservabilă* în sensul strict al cuvîntului. Este vorba de o demonstrație de imposibilitate analogă cu cele pe care le-am întîlnit cînd am discutat relativitatea și mecanica cuantică. Ea exprimă limitele idealizării newtoniene, adică a independenței celor două elemente fundamentale ale dinamicii lui Newton, legea dinamică și condițiile inițiale. Aici această independență este distrusă: legea dinamică a sistemului intră în conflict cu determinarea condițiilor inițiale. Este amuzant să ne amintim felul în care Anaxagora a conceput bogăția posibilităților creatoare ale naturii. Pentru el, orice lucru conține în fiecare părticică a sa o multitudine infinită de germeni calitativ diferiți. Aici, de asemenea, fiecare regiune a spațiului fazelor păstrează o bogăție de comportamente calitativ diferite.

În această perspectivă, traiectoria deterministă apare ca un concept cu aplicare limitată. În măsura în care sîntem incapabili, nu numai în practică ci și în teorie, să descriem sistemul cu ajutorul traiectoriei și sîntem *obligați* să folosim o funcție de distribuție care corespunde unei regiuni finite (oricît de mică) a spațiului fazelor, putem doar să prevedem viitorul *statistic* al sistemului.

Prietenul nostru Leon Rosenfeld obișnuia să spună că conceptele nu pot fi înțelese decît *prin limitele lor*. În acest sens, putem înțelege mai bine astăzi mecanica clasică a cărei formulare a pus bazele științei moderne.

Dar cum a apărut acest punct de vedere? Aici, trebuie să descriem schimbările dramatice suferite de dinamică în acest secol. În timp ce era considerată a fi chiar prototipul unei ramuri a cunoașterii, completă și încheiată, ea a cunoscut de fapt o transformare adîncă pe care o vom schița în cele ce urmează.

4. Reînnoirea dinamicii

În prima parte a acestei cărți, am prezentat o descriere a dinamicii așa cum a fost ea formulată în secolul al XIX-lea, acesta fiind felul în care ea este descrisă în multe texte. Modelul unui sistem dinamic era un sistem integrabil. Pentru a rezolva ecuațiile mișcării trebuie să găsim coordonatele „bune", în așa fel încît momentele corespunzătoare să fie invariante ale mișcării. În acest fel interacțiunile între entitățile în mișcare se elimină. Acest program n-a reușit. Am menționat deja în capitolul II, secțiunea a 3-a că Bruns și Poincaré au arătat la sfîrșitul secolului al XIX-lea că majoritatea sistemelor dinamice, începînd cu renumita problemă a celor „trei corpuri", nu erau sisteme integrabile.

Pe de altă parte, chiar ideea apropierii de echilibru ne cere să mergem dincolo de idealizarea sistemelor integrabile. Am văzut în capitolul VII al acestei cărți că, potrivit teoriei ansamblurilor, un sistem izolat este în echilibru cînd este reprezentat de un „ansamblu microcanonic"; toate punctele de pe suprafața de energie dată au aceeași probabilitate. De aceea, pentru ca un sistem să evolueze către echilibru, energia trebuie să fie singura cantitate conservată în timpul evoluției lui. Ea trebuie să fie singura „invariantă". Într-adevăr, oricare ar fi condițiile inițiale, evoluția sistemului trebuie să-i permită acestuia să treacă prin toate punctele de pe suprafața de energie dată. Dar pentru un sistem integrabil, energia nu este nici pe departe singurul invariant. De fapt, există tot atîția invarianți cîte grade de libertate, cît timp fiecare moment rămîne constant. De aceea, trebuie să ne așteptăm ca sistemul să fie atunci „prizonier" într-o „fracțiune" foarte mică a suprafeței de energie constantă (figura 34), formată prin intersectarea tuturor acestor invarianți.

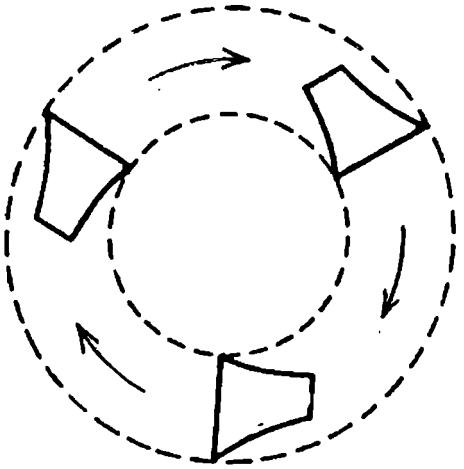

FIG. 34. Reprezentarea unei evoluții tipice în spațiul fazic al celulei inițiale conținînd punctele reprezentative ale unui sistem integrabil. Volumul celulei și forma sa sînt conservate, iar evoluția sa o lasă într-o parte limitată a spațiului fazic.

Pentru a evita aceste dificultăți, Maxwell și Boltzmann au introdus un tip nou de sistem dinamic destul de diferit. Pentru aceste sisteme energia ar fi singura invariantă. Astfel de sisteme se numesc sisteme „ergodice" (figura 35).

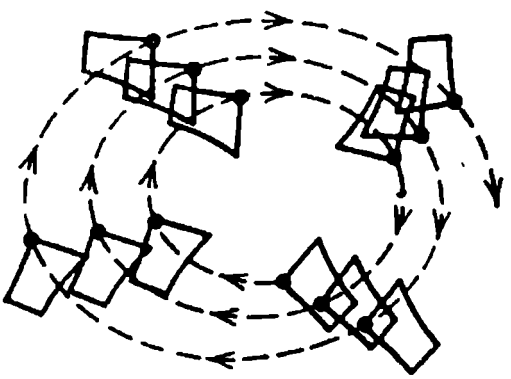

FIG. 35. Reprezentarea evoluției tipice în spațiul fazic al celulei inițiale conținînd punctele reprezentative ale unui sistem ergodic. Volumul și forma se conservă, dar celula se rotește în spirală prin întreg spațiul fazic.

Birchoff, von Neumann, Hopf, Kolmogoroff, Sinai, pentru a menționa numai cîțiva, au adus contribuții importante la teoria sistemelor ergo-

dice [204]. Ştim astăzi că există, într-adevăr, clase importante de sisteme dinamice care sînt ergodice (deşi nu sînt hamiltoniene). Ştim, de asemenea, că înseşi sistemele relativ simple pot avea chiar proprietăţi mai puternice decît ergodicitatea. Vom da mai tîrziu cîteva exemple. Pentru aceste sisteme mişcarea în spaţiul fazelor devine extrem de haotică (în timp ce păstrăm întotdeauna volumul în spaţiul fazelor în concordanţă cu ecuaţia Liouville menţionată în capitolul VII, secţiunea a 3-a).

Să presupunem că condiţiile iniţiale ne permit să localizăm sistemul într-o unică celulă a spaţiului fazelor. În timpul evoluţiei sale, vom vedea cum această celulă iniţial se răsuceşte şi se întoarce şi, ca o amibă, distribuie „pseudopode" în toate direcţiile, răspîndindu-se în filamente din ce în ce mai fine şi mai deformate pînă cînd, în cele din urmă, invadează întreg spaţiul. Nici o schiţă nu poate reda cu fidelitate complexitatea situaţiei reale. Într-adevăr, în timpul evoluţiei dinamice a unui sistem format dintr-un amestec, două puncte, oricît de apropiate le dorim în spaţiul fazelor, se pot îndrepta în direcţii diferite. Chiar dacă ştim o mulţime de lucruri despre sistem, iar celula iniţială formată din punctele ei reprezentative este foarte mică, evoluţia lui transformă această celulă într-un adevărat „monstru" geometric care-şi răspîndeşte reţeaua de filamente subţiri prin spaţiul fazelor (figura 36).

Vom ilustra acum distincţia dintre sistemele stabile şi cele instabile folosind cîteva exemple. Să considerăm un spaţiu fazic cu două dimensiuni. Să presupunem coordonatele x şi y. La intervale de timp regulate înlocuim aceste coordonate cu

---

[204] Pentru o privire de ansamblu vezi Lebowitz J., şi Penrose A., "Modern Ergodic Theory" în *Physics Today*, februarie 1973, p. 23—29. Pentru un studiu mai detaliat vezi Balescu R., *Equilibrium and Non-Equlibrium Statistical Mechanics*, New York, Wiley, 1975.

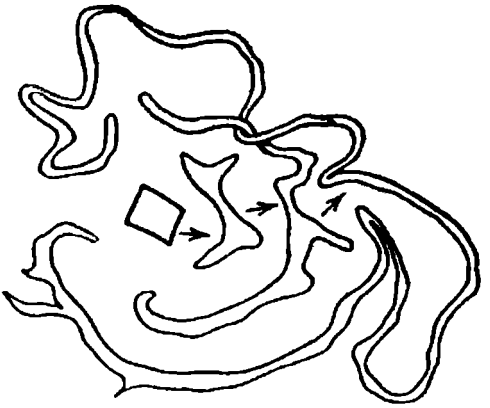

FIG. 36. Reprezentarea evoluției tipice în spațiul fazic al celulei inițiale conținînd punctele reprezentative ale unui sistem „combinat". Se păstrează volumul, dar celula este împrăștiată prin întreg spațiul fazic.

uncle noi. Noua abcisă este x-y, noua ordonată x. Figura 37 ne arată ce se întîmplă cînd aplicăm această operație unui patrat. Patratul se deformează, dar după șase transformări ne întoarcem la pătratul original.

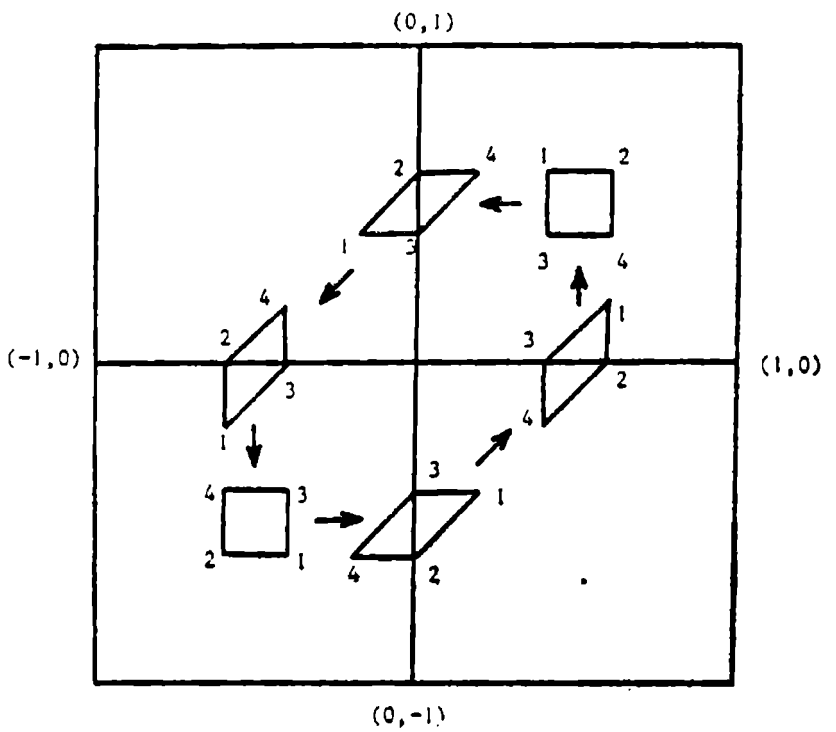

FIG. 37. Transformarea unui volum în spațiul fazic generată de o transformare a coordonatelor fiecărui punct: abcisa x devine $x-y$, ordonata y devine x. Transformarea se produce ciclic după șase astfel de transformări.

Sistemul este stabil: punctele învecinate se transformă în puncte învecinate. În plus el corespunde unui timp ciclic (după șase operații ne întoarcem).

Să dăm două exemple de sisteme foarte instabile: primul mai matematic, al doilea de o relevanță fizică evidentă. Primul pe care-l luăm în considerare constă într-o transformare care, din motive evidente de analogie, este numită de matematicieni „transformarea brutarului" [205]: pornim de la un pătrat; pentru început îl turtim formînd un dreptunghi, apoi așezăm o jumătate a lui peste cealaltă jumătate, pentru a forma din nou un pătrat. Acest ansamblu de operații este exemplificat în figura 38 și se poate repeta de cîte ori vrem.

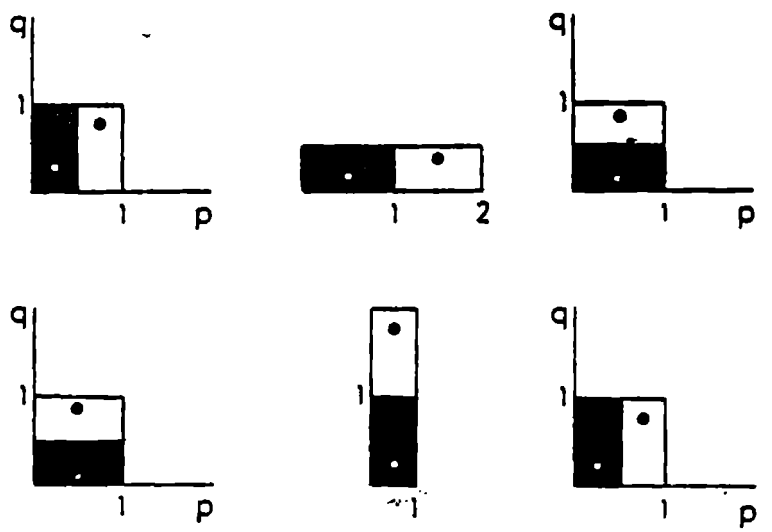

FIG. 38. Realizarea transformării brutarului (B) și a inversului ei (B_{-1}). Drumul celor două urme ne oferă o idee despre transformări.

$B_j(p, q) = j(2p, q/2)$ dacă $0 \leqslant p < 1/2 = j(2p - 1, q/2 + 1/2)$ dacă $1/2 \leqslant p < 1$

$B_{-1}j(p,q) = j(p/2, 2q)$ dacă $0 \leqslant q < 1/2 = j(p/2 + 1/2, 2q - 1)$ dacă $1/2 \leqslant q < 1$.

---

[205] Arnod V. I., și Avez A., *Ergodic Problems of Classical Mechanics*, New York, Benjamin, 1968.

De fiecare dată suprafața pătrată este fragmentată și redistribuită. Pătratul corespunde aici spațiului fazelor. Transformarea brutarului transformă fiecare punct într-un nou punct bine determinat. Figura 38 ne dă un exemplu al seriilor de puncte produse plecînd dintr-un punct inițial, folosind transformarea brutarului. Deși seria de puncte obținută în acest fel este „determinată", sistemul are de asemenea aspecte statistice ireductibile. Să luăm, de exemplu, un sistem descris printr-o condiție inițială astfel încît o regiune *A* a unui pătrat să fie inițial umplută uniform cu puncte reprezentative. Se poate arăta că după un număr suficient de repetări ale transformării, această celulă *oricare ar fi mărimea și localizarea*, va fi fragmentată (figura39).

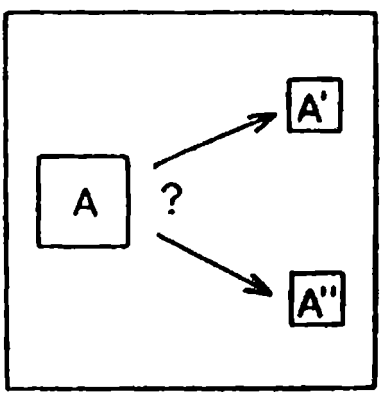

FIG. 39. După fragmentarea suprafeței A, nu mai este posibil să știm cu hotărîre în ce parte se află un sistem care inițial se afla în *A*.

Punctul esențial constă în faptul că orice regiune, indiferent de mărime, conține astfel întotdeauna diferite tipuri de traiectorii, care se separă la fiecare fragmentare. În timp ce evoluția unui punct este reversibilă și deterministă, descrierea unui regiuni, oricît de mică, este fundamental statistică.

Un exemplu foarte similar este acela care descrie împrăștierea sferelor rigide. Putem considera

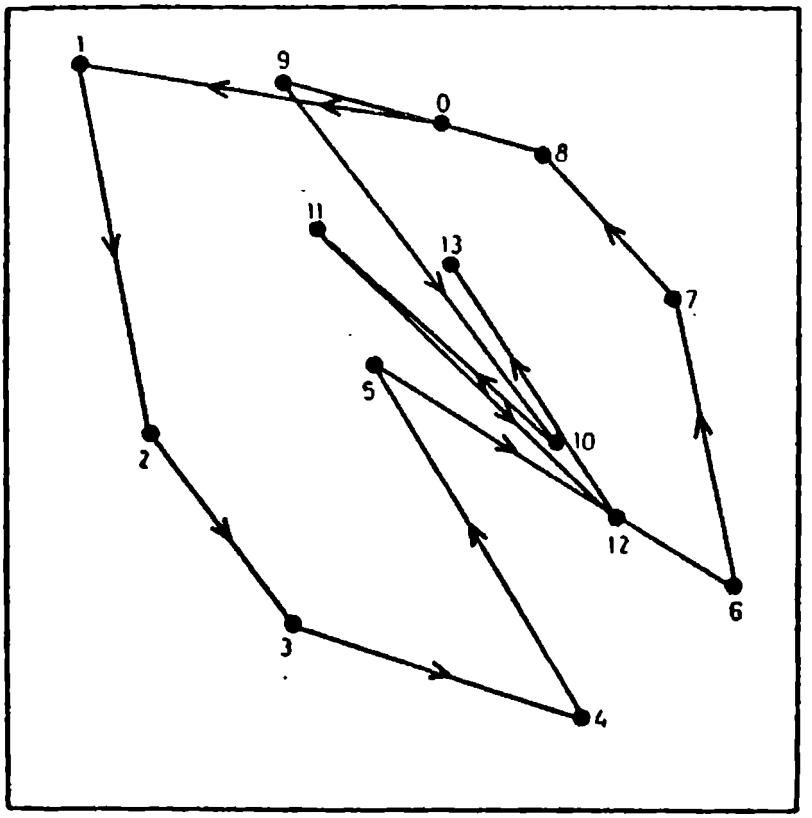

FIG. 40. Poziții succesive ale unui punct inițial situat la $q = 0{,}5456$ și $p = 0{,}8558$ ca urmare a treisprezece transformări ale brutarului. Liniile sînt doar interpolări.

o sferă mică care ricoșează pe o colecție de sfere, distribuite la întîmplare. Se presupune că sferele sînt fixe. Acesta este modelul pe care fizicienii îl numesc „modelul Lorentz", după numele fizicianului olandez Hendrik Antoon Lorentz.

Traiectoria unei sfere mici mobile este bine definită, corespunzînd unei mișcări deterministe. Totuși, ori de cîte ori introducem cea mai mică incertitudine în condițiile inițiale, această incertitudine se amplifică prin ciocniri succesive. Pentru perioade de timp mai mari probabilitatea de a găsi sfera mică într-un volum dat devine uniformă. Oricare ar fi numărul de transformări nu ne întoarcem niciodată. În locul unui timp ciclic închis ca în primul exemplu avem acum un timp deschis ce se extinde de la minus infinit la plus infinit.

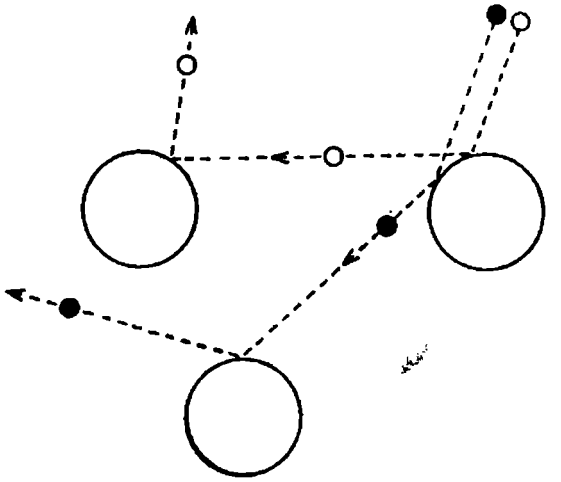

FIG. 41. Reprezentarea schematică a instabilității traiectoriei unei sfere mici care se întoarce împotriva celor mari. Cea mai mică imprecizie a poziției unei sfere mici face imposibilă prezicerea locului unde va lovi după prima ciocnire. Orice nesiguranță de acest fel va crește cu timpul.

În ambele cazuri avem sisteme *instabile* din punct de vedere dinamic. Situația ne amintește de instabilități așa cum apar în sistemele termodinamice, și pe care le-am studiat în capitolul V. Diferențe arbitrar de mici, în condițiile inițiale, se amplifică. Ca urmare, nu mai putem face trecerea de la ansamblurile în spațiul fazelor la traiectoriile individuale. Descrierea în funcție de ansambluri nu poate fi redusă în continuare. Dimpotrivă, aceasta trebuie considerată punctul de pornire. Conceptele statistice nu mai sînt doar o aproximare cu privire la un „adevăr obiectiv" ci singurul instrument teoretic disponibil. Cînd ne confruntăm cu aceste sisteme instabile, demonul lui Laplace este tot atît de neputincios ca și noi și, la oricît s-ar estima vigurozitatea sa, „nu este mai aproape" ca noi de descrierea deterministă.

Maxima lui Einstein, „Dumnezeu nu joacă zaruri", este bine cunoscută, iar Poincaré a subliniat de asemenea că nu este loc de probabilități pentru un mare matematician. Totuși, Poincaré însuși a trasat calea pe care se poate găsi soluția

acestei probleme [206]. El a observat că atunci cînd arunci un zar și folosești calculul probabilităților, aceasta nu înseamnă că presupui că dinamica e greșită. Înseamnă cu totul altceva. Putem aplica conceptul de probabilitate pentru că în fiecare interval al condițiilor inițiale, oricît de mic, există *la fel de „multe"* traiectorii care conduc spre fiecare față a zarului. Tocmai aceasta se întîmplă, în general, cu sistemele dinamice instabile. Dumnezeu putea, dacă voia să facă așa, să calculeze traiectoriile lumii dinamice instabile. Ar fi obținut același rezultat ca și în calculul probabilităților. Bineînțeles, dacă El și-ar fi folosit puterea sa de cunoaștere absolută și supranaturală, atunci ar fi putut scăpa de toate elementele întîmplării. Acesta este lucrul pe care noi nu-l putem face. Ne așteptăm, de aceea, să existe o relație directă între instabilitatea dinamică și conceptul de probabilitate; înainte de a aborda această problemă, trebuie să analizăm mai amănunțit conceptul de timp în sistemele dinamice instabile.

5. Timpul intern

În secțiunea a 3-a am descris ceea ce putem numi aspectul „negativ" al instabilității dinamice. Lumea traiectoriilor poate fi haotică. Ea prezintă caracteristici aleatorii neașteptate. Totuși acest lucru ne conduce spre apariția de concepte noi, de un tip nou de ordine, acum la nivelul funcțiilor de distribuție. O trăsătură nouă a acestei situații noi este apariția unui concept diferit al timpului. Timpul capătă acum o semnificație intrinsecă. Putem vorbi despre *vîrsta* funcțiilor de distribuție în funcție de caracteristicile lor exact așa cum vorbim despre vîrsta prietenilor noștri privind doar unele trăsături fizice ale lor.

---

[206] Poincaré H., „Le Hasard", în *Science et Méthode*, Paris, Flammarion, 1914, p. 65.

Ne vom ocupa acum de diferența pe care o implică acest lucru în perspectivă. Atît în mecanica clasică cît și în cea cuantică timpul este un parametru independent. De exemplu, în mecanica clasică atît $q\ (t)$ cît și $p\ (t)$ sînt funcții ale timpului. În mod similar, în mecanica cuantică t apare ca un parametru independent în evoluția funcției ondulatorii (vezi capitolul VIII). Aici, dimpotrivă, vrem să considerăm timpul ca un parametru *dependent*, ca rezultat al unei situații interne.

Pentru a ilustra această idee, să ne întoarcem la exemplul lui Gibbs cu picătura de cerneală într-un pahar cu apă (capitolul VII, secțiunea a 4-a). Să presupunem că picătura începe cu o formă sferică. Uitîndu-ne la modelul complicat care apare mai tîrziu, ar fi posibil să estimăm durata timpului care s-a scurs. Timpul intern este astfel asociat cu transformarea *topologiei* sistemului, asociată cu funcțiile de distribuție.

Putem vorbi aici de „cronometrarea spațiului", ajungînd în acest fel destul de aproape de ideile recente puse în discuție de geografii care au introdus conceptul de „cronogeografie" [207]. Cînd privim structura unui oraș sau a unui peisaj vedem elementele temporale interacționînd și coexistînd. Totuși, în anumite cazuri, de parcă ne-am afla printre ruinele Pompeiului, ne aflăm în fața unui timp „intern" omogen bine-definit. Dar coexistența intercalată a structurilor urbane ale Romei moderne, datînd din mai multe perioade, ne vor face să vorbim despre o „vîrstă medie".

Acest lucru este foarte important, deoarece ne amintește imediat de proprietățile fundamentale implicate în formalismul operatorului așa cum este descris în capitolul VIII. Am văzut că funcția poate să fie o funcție proprie (adică a hamiltonianului) sau poate să nu fie. În primul caz îi putem asocia o valoare proprie (de exemplu o

---

[207] Parks D. N. și Thrift N. J., *Times Spaces and Places a Cronogeographic Perspective*, New York, Willey, 1980.

valoare bine definită a energiei), în cel de-al doilea caz putem vorbi de o valoare medie. Trebuie, prin urmare, să ne aşteptăm ca timpul intern să fie reprezentat nu de un număr ci de un *operator*. Va trebui atunci să vorbim despre fluctuaţiile timpului.

Vom nota acest operator intern de timp cu T (acest T nu are nimic comun cu operatorul de timp inversat T pe care l-am introdus în secţiunea a doua). El va fi un operator care va acţiona asupra funcţiilor de distribuţie.

Acesta este un frumos exemplu de extindere a formalismului mecanico-cuantic la problemele clasice. În ambele cazuri, nu mai putem folosi traiectoriile pe care trebuia să le exprime noua structură conceptuală în funcţie de operatorii care acţionau asupra „stărilor", fie ele funcţii ondulatorii sau funcţii de distribuţie ρ. Ne putem aştepta ca existenţa unei vîrste interne să fie strîns legată de existenţa entropiei. La urma urmei, creşterea entropiei exprimă creşterea vîrstei interne a sistemului.

Să încercăm să dăm o semnificaţie acestui nou operator, timpul T, legat de „vîrsta" sistemului în cadrul dinamicii. Vom folosi transformarea brutarului. Pentru a o face, trebuie mai întîi să introducem noţiunea de *partiţii*. În cazul transformării brutarului, spaţiul fazelor corespunde pătratelor reprezentate în figura 42.

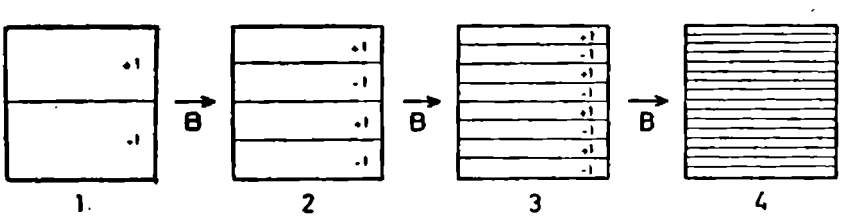

FIG. 42. Aplicarea a trei transformări succesive ale brutarului

Să luăm în considerare funcţiile în acest pătrat care iau două valori, + 1 şi — 1, şi astfel suma acestor valori pe întreg pătratul este zero. Acestè funcţii sînt numite prin definiţie „partiţii". În

figura 42 observăm o partiție ce corespunde celor două felii. Partea de jos a pătratului ia valoarea — 1 și cea de sus + 1. Putem aplica acestei partiții transformarea brutarului și putem verifica folosind regulile ilustrate în figura 38 și obținem o partiție care corespunde celor patru felii. Putem continua, bineînțeles, în acest fel și obținem din ce în ce mai multe partiții fragmentate.

Cum să asociezi un timp, de data aceasta un timp intern, unor partiții? Este normal să afirmi că partiția corespunzătoare celor două felii este „mai tînără" decît partiția corespunzătoare celor patru felii. În felul acesta, facem legătura dintre vîrstă și starea de fragmentare într-un mod specific de orientare a timpului (pentru discutarea acestei selecții, vezi secțiunea a 7-a).

În plus putem folosi o proprietate importantă a partițiilor. Există un ansamblu de partiții — le putem numi partițiile fundamentale — astfel încît toate partițiile din interiorul pătratului se pot obține din aceste partiții fundamentale prin aplicarea unui număr arbitrar k, pozitiv sau negativ, de transformări ale brutarului. Putem, prin urmare, defini vîrsta unei partiții: ea este dată de numărul de transformări pe care le aplicăm partiției fundamentale pentru a o produce. Acum putem face foarte ușor trecerea de la vîrsta unei partiții la vîrsta unei distribuții. Totuși, trebuie să reținem că o distribuție reprezintă o probabilitate în spațiul fazelor și trebuie, prin urmare, să fie pozitivă. În plus, suma valorilor ei pe întreg pătratul trebuie să fie egală cu unitatea. O partiție nu poate, prin urmare, reprezenta o funcție de distribuție, cînd aceasta ia valori negative. Dar noi putem ușor depăși această dificultate. Să-l descompunem pe ρ într-o parte de echilibru și una de „exces". Partea de echilibru corespunde unei constante din spațiul fazelor (aici pătratul). Partea constantă se referă la echilibrul microcanonic introdus în capitolul VII, secțiunea a 3-a. Funcția de distribuție este atunci constantă peste suprafața energiei date. Vom considera această valoare a constantei egală cu unu. În

plus, avem partea de exces pe care o notăm $\bar{\rho}$. Deci, $\rho = 1 + \bar{\rho}$. Excesul $\bar{\rho}$ poate fi pozitiv sau negativ. Fiecărei partiții îi poate corespunde acum o parte $\bar{\rho}$ bine definită și aceasta va avea o vîrstă bine definită, cea a partiției corespunzătoare. Aceasta este, prin definiție, vîrsta funcției de distribuție $\rho(= 1 + \bar{\rho})$. Să presupunem că $\bar{\rho}$ este dată de partiția 1 a figurii 42. Obținem atunci pentru funcția ρ distribuția indicată în figura 43. Verificăm dacă aceasta satisface toate condițiile, adică dacă este peste tot pozitivă (sau nulă) iar suma ei în pătrat este unu. În mod similar, dacă începem cu partiția a doua din figura 42, obținem distribuția statistică ρ reprezentată în figura 44.

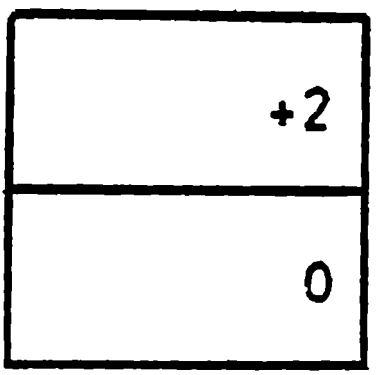

FIG. 43. Funcția de distribuție construită cu o partiție de vîrsta 1.

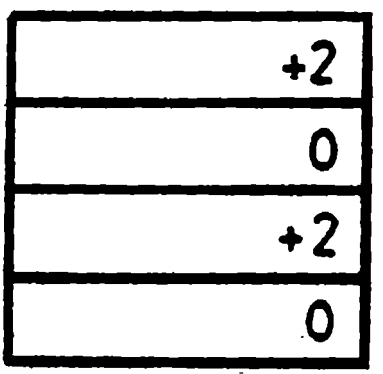

FIG. 44. Funcția de distribuție constituită cu o partiție de vîrsta 2.

Distribuțiile pe care tocmai le-am luat în considerare au o vîrstă bine definită, dar aceasta

corespunde unui caz special. În general, *nu putem asocia unei distribuții o vîrstă bine definită* deoarece, în general, o distribuție poate fi rezultatul partițiilor combinate, de vîrste *diferite*. Putem, de exemplu, considera jumătatea sumei partițiilor 1 și 2 din figura 42. Aceasta conduce partiția spre funcția reprezentată în figura 45. Distribuția ρ construită în acest fel satisface toate cerințele, dar este formată din două părți, de vîrste diferite. Această situație este cea care necesită în mod precis introducerea timpului intern ca *operator* și nu ca număr.

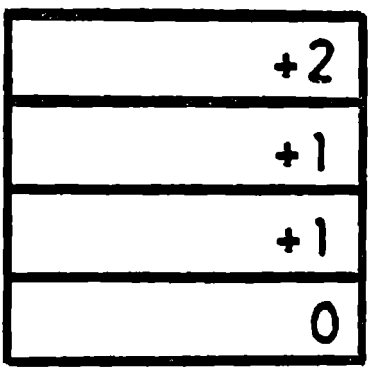

FIG. 45. Funcție de distribuție construită cu suprapunerea unei partiții de vîrsta 1 cu una de vîrsta 2.

Am văzut deja în capitolul dedicat mecanicii cuantice că un operator este caracterizat de funcțiile lui proprii și de valorile lui proprii. Acestea din urmă sînt cantitățile numerice care corespund unei mărimi observabile. Aici valorile proprii sînt toate numere întregi (negative, zero sau pozitive) care corespund unui număr de aplicații ale transformării brutarului pentru a produce o partiție dată. Partițiile sînt valorile proprii.

Astfel funcțiile de distribuție pot sau nu pot fi funcții proprii ale lui T. Cele reprezentate în figurile 43 și 44 sînt într-adevăr funcții proprii care corespund valorilor proprii 1 și 2. Funcția reprezentată în figura 45 nu este o funcție proprie; ea corespunde unui amestec de stări avînd vîrsta 1 și 2. Ori de cîte ori funcția de distribuție nu este

o funcție proprie a lui T, nu are o vîrstă definită. Totuși, putem încă să-i asociem o vîrstă medie. În acest caz putem vorbi despre fluctuații ale timpului intern în jurul mediei sale.

Ne-am referit mai înainte la un operator care acționează asupra funcției de distribuție ρ. Este vorba despre operatorul L al lui Liouville care ne dă evoluția în timp a lui ρ. Operatorul Liouville corespunde vitezei de evoluție a lui ρ și prin urmare derivatei de timp $\partial/\partial t$, unde T se referă la vîrstă și deci la t. Aceasta ne amintește de situația pe care am întîlnit-o în mecanica cuantică pentru p și q, care rezultă din relația de incertitudine a lui Bohr (capitolul VIII, secțiunea a 4-a). Ajungem aici la o necomutativitate între operatorii L și T și, prin urmare, la o nouă relație de incertitudine valabilă chiar și în mecanica clasică pentru toate sistemele instabile pentru care se poate defini operatorul T[208]. Într-un anumit sens, pentru aceste sisteme „fiind" și „devenind" nu mai pot fi integrate într-o singură descriere, ele sînt „complementare". Dacă cunoaștem vîrsta funcției de distribuție, nu cunoaștem evoluția ei (dată de L) și viceversa.

Ne aflăm, prin urmare, în fața a două concepte de timp, timpul asociat cu o traiectorie, cel pe care-l citim pe ceasurile noastre, un timp exterior nouă, care este cel de care avem nevoie pentru a comunica și, pe de altă parte, timpul intern, care în cazul transformării brutarului se măsoară prin fragmentarea funcției de distribuție. Bineînțeles, timpul static și cel intern nu pot fi independente. Acest lucru ar duce la contradicții. Putem, de exemplu, să repetăm transformarea brutarului în fiecare secundă; prin urmare, în fiecare secundă o partiție de vîrsta k se va transforma într-o par-

---

[208] Misra B., Prigogine I., Courbage M., "From Deterministic Dynamics to Probabilistic Descriptions" în *Physica*, vol. 98 A, 1979, p. 1—26.

ție de vîrsta $k + 1$. Funcția de distribuție poate sau nu poate fi o funcție proprie a lui T; în ambele cazuri vîrsta sa medie va crește odată cu timpul universal extern al dinamicii.

Așa cum am arătat în capitolul II, secțiunea a 2-a, Aristotel era conștient de multitudinea de schimbări calitative din natură. Totuși, odată cu apariția dinamicii, timpul și mișcarea au devenit atît de strîns legate încît părea plauzibil să se conchidă că timpul *înseamnă* mișcare, că timpul era pur și simplu parametrul care descria traiectoriile. În cazul timpului intern însă există încă o strînsă legătură cu spațiul. Numai că acum timpul devine rațional, raportat la proprietățile topologice ale distribuției. Putem folosi un neologism și vorbi despre „crono-topologie" ca un prim pas dincolo de conceptul „spațiu-timp" al fizicii clasice și relativiste. Timpul fiind exprimat în funcție de spațiu prin măsurarea vitezelor, a propagării semnalelor, spațiul este acela care capătă proprietăți asemănătoare timpului. Am stabilit deja că schimbarea principală de la timpul „obișnuit" la timpul intern constă în trecerea de la timpul ca variantă independentă la timpul ca variantă dependentă. Predecesorul cel mai apropiat al acestui concept pe care l-am descoperit este poetul Paul Valéry care a exprimat o astfel de concepție a timpului, ca o funcție cînd scria: „Timpul mintal este mai mult o funcție decît o variabilă în psihologie — și vom găsi mai frecvent $\partial t/\partial F$ decît $F/\partial t$" [209].

Acum calea este deschisă spre diferite concepte de timp mai strîns legate de structurile interne, de procesele chimice și biologice. Văzută în acest fel, lumea conține o varietate infinită de timpuri interne, fiecare legată de devenirea destinelor individuale. Totuși, ne aflăm cu toții într-o singură lume; acest lucru implică condiții de consistență, la care vom reveni mai tîrziu.

---

[209] Valery P., *Cahiers I*, La Pléiade, Paris, Gallimard, 1973, p. 1303.

6. De la dinamică la probabilităţi

Voltaire scria în al său *Dictionnaire Philosophique* în articolul *Destin*:

„ ... totul este guvernat de legi imuabile, ... totul este dinainte aranjat, ... totul este un efect necesar ... Există unii oameni care, speriaţi de acest adevăr, recunosc doar jumătate din el, ca datornicii care oferă creditorilor lor jumătate din datorie, cerînd timp mai mult pentru a plăti restul. Există, spun ei, evenimente care sînt necesare şi altele care nu sînt. Ar fi amuzant dacă o parte din ceea ce se întîmplă s-ar întîmpla şi o altă parte din ce se întîmplă nu s-ar întîmpla ... Eu trebuie, în mod necesar, să am pasiunea de a scrie acest lucru şi tu trebuie să ai pasiunea de a mă condamna: amîndoi sîntem la fel de neghiobi, amîndoi sîntem jucării în mîinile destinului. Natura ta este să faci rău, a mea este să iubesc adevărul şi să-l public în ciuda ta".

Oricît de convingătoare ar putea părea, argumentele *a priori* ne pot înşela. Voltaire reacţiona ca un newtonian: natura este permanent conformă cu ea însăşi. Dar, în mod curios, ne aflăm azi în lumea „amuzantă" sugerată de Voltaire; sîntem uimiţi să descoperim diversitatea calitativă a situaţiilor al căror spectacol ni-l oferă natura.

Am discutat în secţiunea precedentă conceptul timpului intern, legat de starea internă a sistemului. Bineînţeles, descrierea sistemelor simple studiate în dinamica clasică şi în cea cuantică, cum sînt pendulul, oscilatorul, mişcarea planetară a două corpuri, nu se modifică. Acolo singurul timp care apare este timpul traiectoriei sau al funcţiei de undă. De aceea, instabilitatea mişcării duce la noi posibilităţi conceptuale: descrierea schimbării în funcţie de operatorii care acţionează asupra funcţiei de distribuţie. Acesta este tipul de descriere pe care vrem să-l urmărim în

continuare. Bineînțeles, nu putem intra în detalii sau prezenta dovezi, care se pot găsi în altă parte [210]: sperăm, totuși, să dăm cititorului o idee despre schema conceptuală c are apare.

Să revenim la problema lui Boltzmann: definirea entropiei la nivel microscopic. Am descris deja în capitolul VII dificultățile legate de încercările clasice. Am văzut că entropia nu poate fi văzută ca o funcție de fază (un rezultat obținut de Poincaré, vezi capitolul VII, secțiunea a 2-a), nici ca o funcție de densitate în spațiul fazelor (vezi capitolul VII, secțiunea a 3-a). Acestea au fost nereușitele care au condus la interpretarea subiectivistă a ireversibilității susținută foarte mult astăzi.

Avem acum o cale de ieșire: entropia poate fi legată acum de un nou operator care acționează asupra funcțiilor de distribuție. Acesta este pasul normal, odată ce am introdus timpul intern T ca operator care acționează asupra funcțiilor de distribuție. Timpul intern mediu apare ca un factor total de îmbătrînire a sistemului. Acum una dintre semnificațiile intuitive ale entropiei constituie legătura sa apropiată cu „îmbătrînirea" sistemului în evoluția sa spre echilibru. Existența unui astfel de operator implică, cum e cazul pentru operatori, fluctuații și noi relații de nedeterminare. Entropia definită în acest fel va crește doar în medie.

Există o relație strînsă între cel de-al doilea timp T și noul operator al entropiei pe care-l vom numi M. Dacă T există va exista și M. Tot ce se cere este să se considere funcțiile pozitive *M (T) care cresc monoton cu timpul intern T.* Valoarea sa medie va crește în mod necesar și monoton odată cu timpul. Toate sistemele care admit un al doilea timp T satisfac cea de-a doua lege a termodinamicii. Punctul esențial constă în faptul că însăși temelia dinamicii se modifică

---

[210] *Op. cit.* (Prigogine).

acum: în dinamică evoluția în timp este descrisă în întregime de operatorul Liouville; aici operatorii *adiționali* T și M sînt cuprinși în această descriere.

Am menționat deja în capitolul I, secțiunea a 3-a, că în dinamică există multiple puncte de vedere *echivalente* legate prin transformări. În toate aceste „reprezentări", caracterul hamiltonian al evoluției se păstrează. Operatorul suplimentar M înseamnă o complementaritate generalizată introdusă acum în interiorul dinamicii clasice. Nici operatorul T și nici operatorul entropiei M nu comută cu operatorul Liouville. Ca urmare, evoluția deterministă a traiectoriilor dinamice și reprezentarea în funcție de entropie sînt ireductibil diferite. Aceasta duce la posibilități adiționale, la noi descrieri ale evoluției în timp care ar fi imposibile în cadrul conceptelor clasice. În special, ea ne oferă mijloacele de a înlocui reprezentarea dinamică în funcție de traiectorii, care sînt foarte artificiale pentru sistemele instabile, prin reprezentări „probabilistice" care să includă de asemenea ideea de ireversibilitate. Vom prezenta acum tocmai această nouă trecere de la dinamică la teoria probabilităților.

Procesele probabilistice cu o creștere monotonă a entropiei sînt bine cunoscute. Ele au fost pe larg folosite în trecut pentru a clarifica semnificația ipotezelor originale ale lui Boltzmann discutate în capitolul al VII-lea. Unul dintre primele modele de acest tip a fost propus de către P și T. Ehrenfest [211]. Este așa numitul *model urnă*. Îl vom descrie pe scurt. Considerăm N obiecte (de exemplu mingi) împărțite în două containere A și B. La intervale regulate de timp (adică, în fiecare secundă), se alege o minge la întîmplare și se mută dintr-un container în altul. Să presupunem că la un moment dat n există k mingi în A și N-k mingi în B. Apoi, în momentul $n + 1$

---

[211] Vezi de exemplu Kac M., *Probability and Related Topics* în *Physical Sciences*, London, Interscience Pub., 1959.

în A pot fi $K - 1$ sau $K + 1$ mingi. Avem probabilităţile de trecere K/N pentru $k \to K - 1$ şi $1 - K/N$ pentru $k \to k + 1$. Să presupunem că continuăm jocul. Ne aşteptăm ca în urma schim-

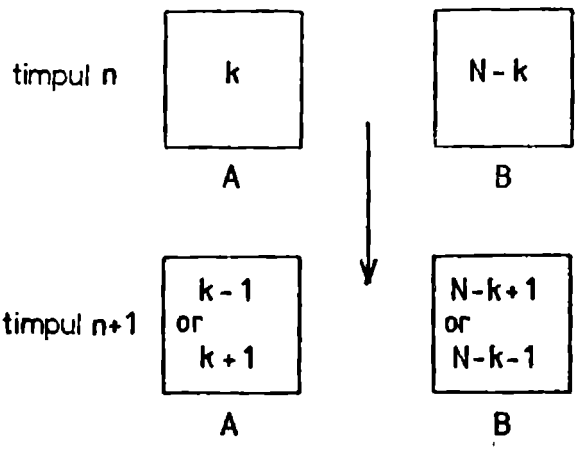

FIG. 46. Modelul urnei lui Ehrenfest.

burilor de mingi să ajungem la distribuţia cea mai probabilă în sensul lui Boltzmann. Cînd numărul N de mingi este mare, această distribuţie corespunde unui număr egal $N/2$ de mingi în fiecare urnă. Acest lucru poate fi verificat prin calcule elementare sau prin experiment.

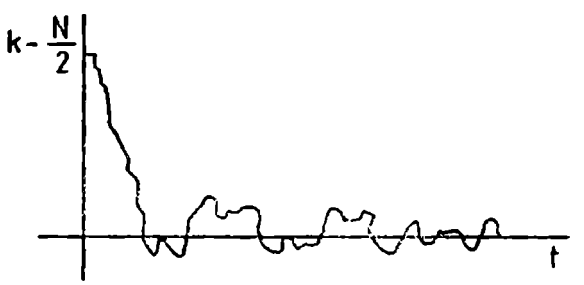

FIG. 47. Apropierea de distribuţia de echilibru $H = N/2$ într-o simulare bazată pe modelul Ehrenfest.

Modelul Ehrenfest este un simplu exemplu de „proces Markov", denumit astfel după marele matematician rus Markov, care a fost unul dintre primii care au descris aceste procese (Poin-

caré s-a numărat și el printre aceștia). Pe scurt, caracteristica lor principală constă în existența probabilităților de tranziție bine definite, *independente de istoria anterioară a sistemului.*

Acum lanțurile lui Markov au o proprietate remarcabilă: ele admit o descriere în funcție de entropie. Să notăm cu $P(k)$ probabilitatea de găsire a k mingi în A. Putem asocia o „H_M — cantitate", care are exact proprietățile necesitate de cantitatea $-H$ a lui Boltzmann pe care am introdus-o în capitolul VII. Figura 48 ilustrează evoluția ei.

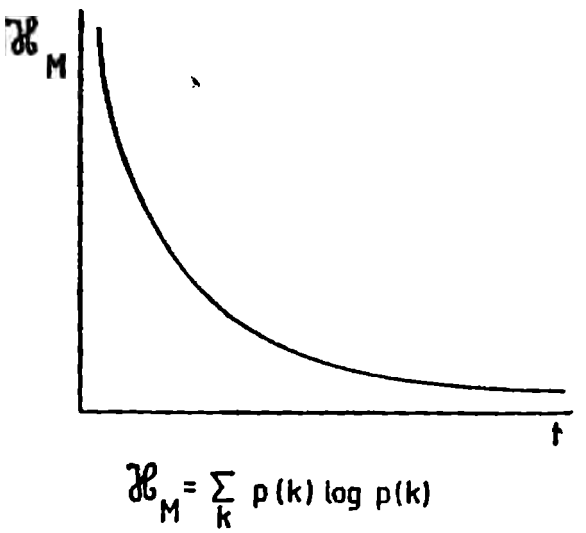

FIG. 48. Cantitatea H_M corespunzătoare modelului Ehrenfest.

Odată ce un proces se reduce la lanțul lui Markov, legea entropiei (definindu-l pe S ca H_M) este în mod automat satisfăcută. Acesta este motivul pentru care s-au folosit adesea lanțurile Markov pentru a ilustra mecanismul proceselor ireversibile. De exemplu, procesele de reacție-difuzie (inclusiv bifurcațiile) au fost modelate extensiv în funcție de lanțurile lui Markov [212]. Vitezele reacțiilor chimice pe care le-am studiat în capitolul V furnizează în acest context expresia probabilităților de tranziție.

[212] Nicolis G., și Prigogine I., *op. cit.*

Trebuie evitată însă o anumită neînțelegere. Procesul Markov de felul celui folosit de modelul Ehrenfest presupune fluctuații. Starea inițială se va întoarce ori de cîte ori vom avea grijă s-o precizăm. Totuși, avem de-a face cu valori medii. Cantitatea H_M care descrește monoton se exprimă în funcție de *distribuția de probabilitate* și nu în funcție de evenimentele individuale. Distribuția de probabilitate este cea care se dezvoltă ireversibil (în modelul Erhenfest funcția de distribuție tinde monoton spre o distribuție binomială). Prin urmare, la nivelul funcției de distribuție, lanțurile lui Markov duc la *un timp cu sens unic.*

Ajungem acum în punctul cheie. Am văzut că de la timpul intern T putem merge la entropia M pentru sistemele dinamice instabile. Ne putem aștepta ca aceste procese să poată fi într-adevăr descrise în funcție de lanțurile lui Markov. Bineînțeles, acest lucru este prezentat aici ca plauzibil; nu putem aduce dovada, care de altfel s-a publicat în altă parte [213]. Mai precis, s-a arătat că putem asocia fiecărei funcții de distribuție ρ în spațiul fazelor *o probabilitate Markov* P (printr-o transformare care-l implică pe M sau timpul intern T (acest operator este, de fapt, pur și simplu rădăcina pătrată a operatorului entropiei, M, pe care l-am introdus mai înainte). Cantitatea H_M a lanțurilor lui Markov cu descreșterea ei monotonă în timp este exprimată în funcție de probabilitățile Markov P legată de ρ prin transformarea care implică pe M și pe T. Acest rezultat mi se pare destul de remarcabil. În afara întîmplării, în afara comportamentului haotic al traiectoriilor, apare o nouă *ordine*, un nou tip de descriere care se poate exprima în funcție de probabilități și la care putem asocia o funcție crescînd monoton așa cum cere cea de-a doua lege a termodinamicii.

---

[213] Courbage M. și Misra B., „On The Equivalence between Bernoulli Dynamical Systems and Stochastic Markov Processes", în *Physics*, vol. 104 A, 1980, p. 359—377.

Transformarea de la funcția de distribuție dinamică ρ la probabilitatea Markov P implică timpul intern T. Această transformare rupe simetria evoluției lui ρ în raport cu T. *Trecutul și viitorul, după cum sînt definite în funcție de P, nu mai joacă același rol.* Acesta este motivul pentru care trecem de la ecuația reversibilă la care se supune ρ (ecuația Liouville) la lanțul lui Markov cu polarizarea sa în timp.

Este necesar să subliniem faptul că tranziția între procesele dinamice și cele probabilistice implică luarea în considerare a direcției timpului. Ca urmare, nu se pot folosi probabilitățile pentru a „dovedi" direcționalitatea timpului, deoarece tranziția dintre procesele dinamice și cele probabilistice *implică* deja alegerea unei direcții a timpului.

Pentru a evita neînțelegerile trebuie să ne reamintim aici că în mecanica cuantică ne ocupăm de asemenea de teoria probabilităților. Totuși, această teorie a probabilităților se bazează pe ***amplitudinile*** de probabilitate care evoluează reversibil în timp. În mecanica cuantică nu există nici o asociere între amplitudinea de probabilitate și cea de ireversibilitate.

Ceea ce este fascinant în situația prezentată este faptul că trecerea de la dinamică la probabilități nu corespunde unei pierderi de informație. În nici un punct nu-și spune cuvîntul ignoranța noastră sau orice alți factori subiectivi. Dimpotrivă, tipul de mișcare, caracterul ei haotic, este cel care face posibilă trecerea spre o descriere probabilistică.

Iată ceea ce am avut în minte cînd am scris, în introducerea la acest capitol, că acest concept de probabilitate trebuie generat din *interiorul* dinamicii. S-a făcut în mod sigur un pas decisiv în această direcție, dar rămîne încă o problemă nerezolvată, pe care o vom discuta în secțiunea următoare.

7. Un univers participator

În frumoasele sale prelegeri despre „Granițele timpului" John Archibald Wheeler scria: „Universul este un circuit autoexcitat. Pe măsură ce se extinde, se răcește și se dezvoltă, acesta dă naștere la observatorul participator. Acesta din urmă dă naștere, la rîndul său, la ceea ce numim „realitatea tangibilă a universului" [214].

Vrem să dăm un înțeles mai precis acestei idei a universului participator atît de bine descris de Wheeler.

Să ne întoarcem la problema săgeții timpului. În secțiunea a 6-a am introdus un operator, entropia $M(T)$, care crește (în medie) cu timpul. Putem, de asemenea, introduce *o altă* funcție $M'(T)$ care va crește spre *trecut*.

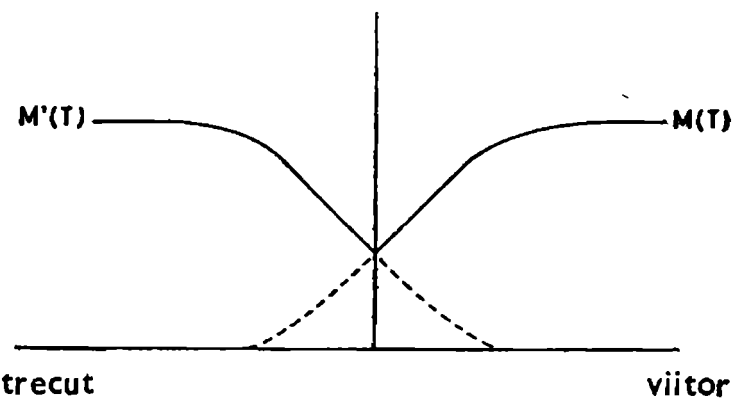

FIG. 49. Alegerea între două „entropii"; prima este „orientată" către viitor, a doua către trecut.

Folosirea acestor două funcții diferite va duce spre două descrieri de probabilitate diferite, la două lanțuri ale lui Markov diferite. Într-adevăr, fiecare dintre ele duce la o relație diferită între funcția de distribuție dinamică, ρ, și probabilitatea Markov, P, mediată una de către $M(T)$ și cealaltă de către $M'(T')$. După cum am mai spus,

---

[214] Weeler J. A. *Frontiers of Time*, Enrico Fermi Course, August 1977, North Holland for the Società Italiana di Fisica, Amsterdam, 1979.

un lanț al lui Markov presupune o săgeată a timpului, ruperea simetriei dinamice dintre trecut și viitor. Din nou, una este orientată spre viitor și duce la echilibrul statistic pentru timpuri pozitive mari. Cealaltă este orientată spre trecut.

Acest rol simetric de trecut și viitor se poate verifica prin exemplul simplu al transformării brutarului: ori de cîte ori ne îndreptăm spre viitor sau spre trecut, fragmentarea *crește*.

În termeni matematici, trecerea de la descrierea dinamică inițială, în care trecutul și viitorul joacă același rol, la descrierile termodinamice sau probabilistice, orientate fie către viitor, fie către trecut, corespunde trecerii de la un „grup" la un „semigrup". Într-un grup timpul se poate scurge în două direcții, iar într-un semigrup se scurge doar într-o singură direcție. Cînd trecem de la funcția de distribuție dinamică, ρ, la probabilitatea lanțului lui Markov, P, introducem o „polarizare a timpului". Putem trece de la ρ la două funcții *diferite* $P+$ sau $P-$.

În acest sens, modelele simple pe care le-am discutat, transformarea brutarului sau modelul urnei al lui Eherenfest, nu reușesc să rezolve problema entropiei. Avem aici situația pe care am menționat-o în secțiunea a 2-a: o descriere a evoluției sistemelor dinamice în funcție de entropie, de probabilități, dar „fără" o săgeată a timpului.

Putem, bineînțeles, argumenta, așa cum s-a făcut adesea în trecut [215], că direcția timpului este un concept primitiv, o premisă obligatorie pentru toate formele de viață. În introducere am menționat chemotactismul; o amibă în căutare de hrană nu va putea acționa astfel fără o percepere a diferenței dintre trecut și viitor. Înainte de a studia mișcarea „reversibilă" a pendulului fără frecare sau a proceselor ireversibile de transmitere a căldurii, un om de știință trebuie să perceapă diferența dintre trecut și viitor. Dacă nu,

---

[215] Edițiile franceze și germane acordă un rol greșit acestui argument corect.

cum va putea el să exprime diferența dintre procesele reversibile și cele ireversibile? În acest sens, diferența dintre trecut și viitor este un concept pre-științific.

Totuși, nu ne putem opri aici. Dacă am face-o am *transfera* pur și simplu propria noastră direcție de timp spre sistemele dinamice. Dar atunci nu s-ar mai pune problema unei teorii microscopice a proceselor ireversibile. Am fi putut demonstra că săgeata noastră a timpului poate fi folosită pentru a alege procesul probabilistic „corect" orientat de la trecutul nostru spre viitorul nostru. Ajungem deci la următoarea întrebare: există oare o asimetrie fundamentală în univers, care *independent de noi* permite realizarea acestei alegeri? În aceasta constă importanța ideii de „univers participator".

O posibilitate afirmată adesea este recurgerea la cosmologia modernă pentru a argumenta faptul că întreaga evoluție a universului este aceea care furnizează motivația acestei alegeri. Dar în ce măsură, cînd observăm propagarea căldurii, atingerea echilibrului de către reacțiile chimice, este într-adevăr necesar să ne referim explicit la un model cosmologic anterior pentru a explica caracterul unidirecțional al acestor procese? În ce măsură comportamentul unilateral este atît de vădit la nivel macroscopic, *inerent* în obiectele pe care le observăm? Acestea sînt întrebările la care vom răspunde acum.

8. Dinamica corelațiilor

Să ne întoarcem la paradoxul lui Loschmidt prezentat în capitolul VII și să-l descriem în funcție de dinamica corelațiilor. Să presupunem că pornim de la $t = 0$ cu o funcție de distribuție ρ fără a include corelații între particule (aceasta corespunde cazului în care funcția de distribuție depinde doar de viteze și nu de poziții). În intervalul de timp de la 0 la t_0, distribuția vitezei devine mai simetrică și apar corelațiile. Aceasta este

porțiunea peste care descrește cantitatea H a lui Boltzmann. Inversarea vitezei transformă corelațiile postcolizionale în corelații precolizionale. De la t_0 la $2t_0$ aceste corelații precolizionale dispar și distribuția vitezei devine mai puțin simetrică pînă cînd la $2\ t_0$ ne reîntoarcem la o stare „necorelațională". În cel de-al doilea interval de timp, avem un comportament antitermodinamic în sensul cantității H a lui Boltzmann. Istoria sistemului este, prin urmare, compusă din două perioade. În timpul celei dintîi, coliziunile se transformă în corelații, iar în timpul celei de-a doua perioade, corelațiile se transformă din nou în coliziuni. Amîndouă tipurile de procese sînt compatibile cu legile dinamicii. Prin urmare, diferența în comportamentul cantității H a lui Boltzmann poate fi legată doar de distincția fizică dintre cele două tipuri de procese.

Inversarea vitezei nu este un proces hamiltonian „normal"; el solicită ca moleculele să primească „informații" din lumea exterioară pentru a avea ca urmare inversarea vitezelor lor. Avem nevoie de un demon maxwellian pentru a efectua inversarea vitezelor, iar demonul lui Maxwell are un preț. Prețul acestei entropii crește rapid odată cu lungimea perioadei t_0. Cînd $t_0 \to \infty$ prețul devine infinit și experimentul cu inversarea vitezei nu se mai poate face.

Acest punct de vedere, care dovedește simț practic, poate fi formulat acum mai precis, trecînd la o descriere probabilistică. „Prețul" cunoașterii poate fi integrat chiar în definiția entropiei.

Metodele descrise în secțiunile precedente nu implică nici o aproximație. Funcția de distribuție conține informații despre corelații și astfel corelațiile sînt incluse în trecerea de la ρ la probabilitatea Markov. Ca urmare, cantitatea corespunzătoare H conține acum de asemenea corelații. Cînd efectuăm inversarea vitezei, informația corespunzătoare trebuie inclusă în H care sare discontinuu la o valoare mai mare din cauza apariției corelațiilor precolizionale. Obținem, așadar, evoluția timpului corespunzător din figura 50.

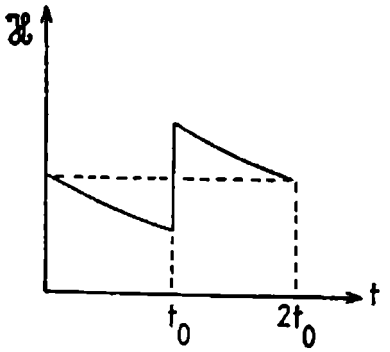

FIG. 50. Variația funcției H: la timpul t_0 vitezele sînt inversate, iar H crește puternic; la timpul $2t_0$, sistemul este în aceeași stare ca și la timpul zero.

Entropia (—H) crește în fiecare moment cu excepția momentului cînd pătrunde în sistem informația suplimentară.

Mai mult, cînd t_0 crește, salturile de entropie cresc de asemenea.

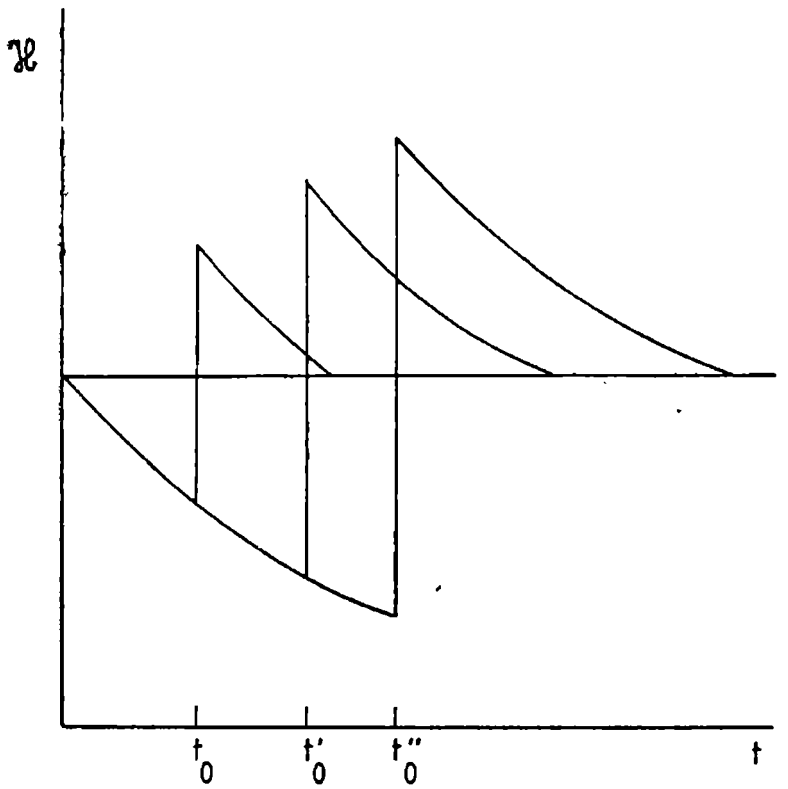

FIG. 51. Creșterea „saltului de informație" implicat în inversarea vitezei pe măsură ce crește timpul la care se efectuează această inversiune.

După cum am menționat, prețul entropiei pentru reîntinerirea sistemului crește odată cu timpul și după un anumit interval reîntinerirea devine imposibilă.

Procesele care corespund pe o perioadă mare transformării coliziunilor în corelații vor duce la o funcție de distribuție pe care o vom nota prin ρ. În mod similar, timpul corespunzător proceselor inversate vor duce la o funcție de distribuție $\rho-$. După cum am stabilit nici un experiment nu permite transformarea lui $\rho+$ în $\rho-$. În felul acesta putem distinge două clase de funcții de distribuție. Sîntem astfel în situația de a formula în limbajul dinamicii corelațiilor disimetria de bază a timpului implicită în legea a doua a termodinamicii: *„distribuțiile ρ — se exclud"*. În termeni fizici aceasta înseamnă că, dacă considerăm un sistem dinamic, cum ar fi un gaz, pot exista corelații la distanțe mari numai între particulele care s-au ciocnit în trecut. În mod asimptomatic, există doar corelații postcolizionale și *nu* precolizionale.

Este interesant de notat că formularea microscopică pe care am dat-o legii a doua urmărește îndeaproape semnificația macroscopică a entropiei. Dar, din punctul de vedere al conservării energiei (vezi capitolele IV și V), căldura și lucrul mecanic joacă același rol. Dar acest lucru nu mai este valabil din punctul de vedere al legii a doua. Pe scurt, lucrul mecanic este o formă mai coerentă de energie și se poate transforma întotdeauna în căldură. Dar, după cum am văzut, reciproca nu este valabilă. Avem, la nivel microscopic, o distribuție asemănătoare între *coliziuni* și *corelații* (vezi capitolul VII). Din punctul de vedere al dinamicii coliziunile și corelațiile joacă același rol. Totuși, încă putem să controlăm coliziunile și să producem corelații, în timp ce invers, doar în cazuri foarte speciale putem controla corelațiile pentru a produce coliziuni.

Ne putem întoarce acum la modul de abordare al lui Boltzmann prezentat în capitolul VII. De

fapt, Boltzmann a fost foarte aproape de soluție. Deoarece am recunoscut că era esențial să trecem dincolo de „înlocuirea" traiectoriilor prin probabilități și că a trebuit să facem o declarație despre categoria funcțiilor de distribuție admisibile, am fost determinați să dăm un sens mai exact supoziției de haos molecular a lui Boltzmann. Această supoziție era prea puternică, întrucît presupunea excluderea *tuturor* corelațiilor precolizionale și astfel ducea la contradicții, iar noi puteam produce astfel de corelații prin experimentele cu inversarea vitezei. În contrast, distincția dintre $\rho +$ și $\rho -$ este ireductibilă. Nici un eveniment nu poate transforma o funcție de distribuție $\rho +$ într-un $\rho -$ sau invers. Fără o astfel de distincție bazată pe corelații nu poate exista o săgeată a timpului imună față de interpretarea subiectivistă. Mai degrabă am fi înlocuit legile timpului reversibil al dinamicii cu legile egale ale timpului reversibil pentru evoluția funcțiilor de distribuție (conform teoremei lui Liouville).

9. Entropia și ordinea dinamică intrinsecă

Trecerea de la dinamica reversibilă la ireversibilitatea implicată de legea a doua rezultă dintr-o formă specială de rupere a simetriei. Originea fizică a acestei ruperi de simetrie constă într-o limitare a stărilor fizice observabile. O astfel de limitare provine, în primul rînd, din instabilitatea (puternică) a mișcării dinamice și, ca urmare, conceptul de traiectorii de spațiu încetează să mai fie semnificativ fizic, iar stările sistemului realizate fizic trebuie să fie descrise în funcție de funcțiile de distribuție (ale lui Gibbs). Dar existența ruperii de simetrie despre care discutăm este expresia unei limitări suplimentare: nu toate distribuțiile ci doar un subgrup corespunde unor stări realizabile fizic. Am prezentat argumente indicînd că această a doua limitare este o consecință a faptului că anumite tipuri de corelații „direcționate

spre viitor" nu pot exista în sistemele fizice astfel încît stările realizabile fizic pot fi reprezentate doar de acele distribuții care nu conțin astfel de corelații „direcționate spre viitor". Bineînțeles, dacă o astfel de regulă a selecției este valabilă, un anumit timp ea trebuie să rămînă valabilă tot timpul de aici înainte. Cu alte cuvinte, ea trebuie să fie *propagată* de legile dinamicii. Legea a doua adaugă un nou element dinamicii. Ea este compatibilă cu dinamica, dar nu este reductibilă la ea.

Vedem că această situație este în mare dezacord cu formularea obișnuită a dinamicii unde condițiile inițiale se presupun a fi arbitrare. Este foarte adevărat că putem da unei pietre o poziție arbitrară sau o viteză în cadrul posibilităților tehnologice, dar nu putem mînui în acest fel un sistem complex, cum e gazul, format dintr-un număr foarte mare de particule. Condițiile inițiale trebuie să fie ele însele *stări posibile* ale sistemului.

Timp de mai bine de un secol problema legii a doua și introducerea ei în dinamică a constituit un subiect de discuție. S-au sugerat două soluții: legea a doua este incompatibilă cu dinamica sau, dimpotrivă, ea se deduce din dinamică folosind în plus conceptul de probabilitate. Noi am ajuns la o a treia concepție care încorporează elementele celor două soluții pe care le-am menționat: ea recunoaște atît *noutatea radicală* a legii a doua (în acest sens nu poate exista nici o „deducție" a legii a doua din dinamică) cît și rolul fundamental jucat de probabilități. Totuși, această concepție trece dincolo de opiniile tradiționale din moment ce presupune faptul că legea a doua conține în plus o regulă de selecție orientată în timp care este propagată de către dinamică.

Trăsătura remarcabilă constă în faptul că ireversibilitatea poate apărea din dinamică fără să-i distrugă structura conceptuală. Acesta este tocmai motivul pentru care găsim în univers o dualitate neașteptată. Există *atît* sisteme care satisfac legile reversibile ale mecanicii clasice sau ale mecanicii cuantice cît și sisteme care satisfac legea a doua a termodinamicii. Există, de aseme-

nea, sisteme pentru care traiectoriile dinamice au sens și sisteme pentru care trebuie să trecem dincolo de descrierea dinamică obișnuită pentru a exprima limitele de bază inerente legii a doua.

Din nou, așa cum am menționat în capitolul VIII, bogăția de comportamente pe care o observăm în natură nu poate fi inclusă într-o singură schemă teoretică.

Odată ce începem să înțelegem sensul microscopic al legii a doua, apreciem, de asemenea, mai bine sensul ei la nivel macroscopic. Pentru a parafraza titlul amăgitor al lui René Girard *Des Choses cachées depuis la Fondation du Monde* [216], putem spune că principiul entropiei clarifică, într-adevăr, la nivel macroscopic, lucruri care zac ascunse la nivel microscopic. Acum înțelegem noi bine fascinația pe care a exercitat-o în totdeauna legea a doua: ea se îndepărtează într-adevăr radical de opinia mecanicistă și ne îndreaptă spre o nouă descriere în care conceptele de timp, de probabilitate, de fluctuații capătă un rol nou, esențial.

Există un element cosmologic global inclus în formularea dată de noi. Ireversibilitatea ține de sistem ca întreg. Dacă am putea izola un număr mic de molecule, ele s-ar ciocni mereu, iar distincția dintre corelațiile pre și postcolizionale s-ar estompa.

Sîntem convinși că reconceptualizarea fizicii, cu accentul ei pe timp și evoluție, este doar la început. O mare parte din ceea ce am spus este adevărat atît în mecanica cuantică cît și în cea clasică. În mecanica clasică cunoașterea maximă corespunde unei traiectorii, în timp ce în mecanica cuantică ea corespunde unei funcții ondulatorii. Validitatea funcției ondulatorii este limitată în același fel ca și cea a traiectoriei și ca să se ia această limitare în considerare se ajunge în mod similar la adăugarea trăsăturilor statistice, de această dată la acelea descrise de mecanica cuan-

---

[216] Girard R., *Des Choses cachées depuis la Fondation du Monde*, Paris, Grasset, 1978.

tică. Este curios faptul că crearea fizicii cuantice de către Planck s-a bazat pe folosirea formulei lui Boltzmann pentru entropie $S = k \log P$. Căci, într-un anumit sens, această formulă marchează, de asemenea, limitele unei descrieri dinamice, fie ea clasică sau cuantică. Recunoașterea acestui lucru poate duce la un nou capitol în fizica teoretică, unificînd atît fizica cuantică cît și termodinamica.

Universul este mult mai complex decît s-a crezut. Sistemele dinamicii simple își continuă mișcarea periodică exprimată în funcție de conceptul newtonian al timpului.

În sistemele complexe, în universul ca întreg ireversibilitatea este o regulă. Acum am închis cercul. În prima parte a cărții am descris universul newtonian, iar în partea a doua știința crescîndă a complexității. Din înfruntarea doctrinelor rezultă, într-adevăr, o înțelegere mai deplină a lumii fizice care conține timpul și eternitatea, atît legile cît și jocurile.

Concluzii

Noua vrajă a lumii

1. Sfîrșitul omniștiinței

Știința este, fără îndoială, arta de a manipula natura. Dar ea este, în același timp, un efort pentru a o înțelege, pentru a răspunde la cîteva întrebări pe care din generație în generație, oamenii n-au încetat să și le pună. Una din aceste întrebări a revenit de-a lungul acestei cărți ca o temă obsedantă; ea obsedează istoria științelor și istoria filozofiei. Este problema relației dintre ființă și devenire, dintre permanență și schimbare.

Am făcut aluzie la speculațiile presocratice, finalizate prin cîteva concepte decisive: schim-

barea care determină nașterea și moartea lucrurilor este oare impusă din exterior unei materii care ar rămîne indiferentă? Sau mai curînd este produsă de activitatea intrinsecă și autonomă a acestei materii? Trebuie oare să evocăm o forță motrice sau mai curînd devenirea este imanentă lucrurilor? În secolul al XVII-lea știința despre mișcare s-a dezvoltat *împotriva* modelului biologic al unei organizări spontane și autonome a ființelor naturale. De atunci ea este confruntată cu două posibilități fundamentale. Căci, dacă orice schimbare nu este decît mișcare, cui se datorează mișcarea? Trebuie oare să considerăm, împreună cu atomiștii, numai rolul atomilor în vid, ciocnirile lor aleatorii și asociațiile lor instabile? Sau poate mișcarea se datorează unei „forțe" exterioare maselor, care reprezintă suportul ei? De fapt, această alternativă punea problema posibilității de a atribui naturii o ordine legică. Este oare natura intrinsec aleatorie, iar comportamentele regulate, previzibile și reproductibile nu sînt decît produsul efemer al unei fericite întîmplări? Sau poate mai întîi este legea? Putem noi oare să facem din „forțele" ce impun materiei inerte un comportament legic și susceptibil de descriere matematică, principiile fizicii?

În secolul al XVIII-lea hazardul vîrtejurilor instabile și spontane a fost învins de legea matematică imuabilă; și lumea pe care o cîrmuiește această lege nu mai este acea lume atomistă în care lucrurile se nasc, trăiesc și dispar în incertitudinile unei proliferări fără scop, ci este o lume ordonată, o lume în care nu se poate produce nimic care să nu fi fost dintotdeauna deductibil din definiția instantanee a sistemului maselor ei.

De fapt, concepția dinamică a lumii nu constituie în sine o noutate absolută. Dimpotrivă, putem să situăm în mod foarte precis locul său de origine: este lumea cerească aristoteliană, lumea imuabilă și divină a traiectoriilor astronomice, după opinia lui Aristotel, singura lume susceptibilă de descriere matematică exactă. Am devenit

ecoul acelei plîngeri, conform căreia știința, și îndeosebi fizica, dezamăgește lumea. Dar ea face acest lucru tocmai pentru că divinizează lumea, pentru că neagă diversitatea și devenirea naturală, din care Aristotel făcea atributul lumii sublunare, în numele unei eternități incoruptibile, singura susceptibilă de a fi gîndită ca adevăr. Lumea dinamicii este o lume „divină" asupra căreia timpul nu acționează, astfel încît nașterea și moartea lucrurilor sînt excluse pentru totdeauna.

Totuși, după cît se pare, nu aceasta a fost intenția acelora pe care-i numim întemeietorii științei moderne; dacă ar fi vrut să sfarme interdicția lui Aristotel după care matematicile se opresc acolo unde începe natura, făcînd aceasta, se pare că ei nu credeau că în spatele imuabilului vor descoperi schimbarea, ci credeau că vor împinge natura schimbătoare și coruptibilă pînă la granițele Universului. În primul capitol al *Dialogului marilor sisteme*, Galilei se extaziază de faptul că unii pot să-și imagineze că Pămîntul ar fi fost mai nobil și demn de admirat dacă potopul n-ar fi lăsat decît o mare de gheață sau dacă Pămîntul ar fi avut duritatea de neclintit a jaspului: ar fi bine dacă cei ce gîndesc că Pămîntul ar fi cu mult mai atrăgător transformat într-un glob de cristal, să întîlnească un cap de Meduză care să-i transforme în statui de diamant făcîndu-i astfel „mai buni" decît sînt.

Dar obiectele științei, selecționate de primii fizicieni care și-au propus să matematizeze comportamentele naturale — pendulul ideal cu oscilație veșnică și conservativă, ghiuleaua de tun în vid, mașinile simple cu mișcare perpetuă și, de asemenea, traiectoriile planetelor asimilate de acum înainte cu ființele naturale — toate aceste obiecte în jurul cărora s-a purtat primul dialog experimental s-au relevat susceptibile de o descriere matematică *unică*. O descriere care tocmai reproducea divina idealitate a aștrilor lui Aristotel.

Ca și zeii lui Aristotel, mașinile simple din dinamică nu s-au ocupat decît de ele însele. Ele nu au

nimic de învățat, dimpotrivă, dintr-un contact oarecare cu lumea exterioară ele au totul de pierdut. Ele simulează un ideal ce va fi realizat de *sistemul dinamic*. Am descris acest sistem, am arătat în ce sens el reprezintă riguros un sistem al lumii, nelăsînd nici un loc unei realități ce i-ar fi exterioară. În fiecare moment, fiecare din punctele lui știe tot ce ar fi trebuit să știe vreodată, adică distribuția spațială a maselor și vitezele lor. Sistemul este prezent în sine pretutindeni și întotdeauna: fiecare stare conține adevărul tuturor celorlalte, fiecare poate să prezică poziția celeilalte, oricare ar fi pozițiile respective pe axa monodromă a timpului. Se poate spune că în acest sens o evoluție dinamică este tautologică. Surd și orb față de orice lume exterioară, sistemul funcționează singur și toate stările sale au aceeași valoare.

Legile universale ale dinamicii traiectoriilor sînt conservative, reversibile și deterministe. Ele implică faptul că obiectul dinamicii poate fi cunoscut în totalitate: definiția unei stări a sistemului, oricare ar fi, și cunoașterea legii care guvernează evoluția ne permit să deducem cu certitudine și cu precizia unui raționament logic, totalitatea trecutului ca și a viitorului său.

De aici înainte, natura concepută pe modelul sistemului dinamic nu mai putea să fie decît o natură străină omului care o descrie. Singura posibilitate ce se deschidea era de a se apropia de poziția descrierii optime acolo unde demonul lui Laplace, trufaș, a calculat întotdeauna lumea trecută și viitoare, după ce, la un moment dat a reperat valorile pozițiilor și ale vitezelor fiecărei particule.

Un mare număr de critici ai științei moderne au pus accentul pe caracterul de pasivitate și de supunere pe care fizica matematică îl atribuie naturii pe care o descrie. Într-adevăr, natura automată, în întregime previzibilă, poate fi în același timp manevrabilă de la un capăt la altul, pentru cel ce știe să-i pregătească stările. Totuși, în concluzia acestei cărți noi considerăm că diagnos-

ticul nu poate fi atît de simplu. Desigur, în cursul ultimelor trei secole noțiunea de „a cunoaște" a fost adeseori identificată cu aceea „de a ști să manevrezi". Dar nu în aceasta constă întreaga istorie și științele nu se lasă supuse fără violență proiectului clar de dominație. Știința înseamnă în același timp dialog, desigur, nu un schimb, între subiecți, ci explorări care nu urmăresc doar tăcerea și aservirea celuilalt.

Trebuie să stabilim mai întîi o diferență între dinamică și alte științe în care ideea manipulării joacă un anumit rol. Psihologia skinneriană, de exemplu, ne învață să manipulăm ființele vii considerate de ea ca niște cutii negre: în acest sens, importante sînt doar „intrările", ceea ce ea controlează, și „ieșirile", reacțiile subiectului de experiență; la fel, știința mașinilor cu abur nu a avut ambiția de a „intra" în cuptor, ci numai de a înțelege corelațiile dintre variațiile de mărimi măsurabile *din exterior*. Dinamica, dimpotrivă, epuizează obiectul printr-un ansamblu de *echivalențe care definesc în egală măsură și inseparabil anumite posibilități de manipulare*. Cel mai bun exemplu este acela al inversiunii vitezelor. Pentru a identifica cauza și efectul, ceea ce dispare determinînd schimbarea, și cîștigul echivalent care constituie schimbarea, se invocă o manipulare ideală, în care viteza ar fi instantaneu inversată. Corpul și-ar redobîndi *altitudinea* inițială, pierzînd integritatea *vitezei* dobîndite. Echivalența fundamentală $mv^2/2 = mgh$ definește în același timp în mod „obiectiv" *obiectul* dinamic și definește *o manipulare* posibilă pe plan ideal.

Dinamica realizează, așadar, într-o modalitate unică o convergență între interesele de manipulare și interesele de cunoaștere care urmăresc doar înțelegerea naturii. Din aceasta putem deduce că știința a putut să pară dominată de ambiția de a manipula, dar de asemenea putem deduce că această dominație s-a vădit instabilă atunci cînd obiecte noi au atras atenția și curiozitatea.

Din acest punct de vedere, fără îndoială, nu există un simbol mai potrivit al unei transfor-

mări care este mai întîi transformarea întrebărilor și intereselor noastre, decît evocarea celor două subiecte de admirație ale lui Kant: eterna mișcare a aștrilor pe cer, și legea morală, în inima sa; două ordini legale imuabile și eterogene. În momentul de față cunoaștem violența Universului, știm că stelele sînt în necontenită explozie și că galaxiile se nasc și mor. Știm că nu putem garanta nici măcar stabilitatea mișcării planetare. Și tocmai această instabilitate a traiectoriilor, bifurcațiile în care regăsim fluctuațiile activității noastre cerebrale, au devenit astăzi pentru noi sursă de inspirație [216a].

Am încercat să înțelegem procesele complexe prin care transformarea intereselor noastre, a problemelor pe care le considerăm hotărîtoare, a putut să intre în rezonanță cu căile de cercetare proprii științei și, în coerența închisă a certitu-

---

[216a] Orientările acestei cărți îmbrățișează deci, cu șanse diferite, diversele curente ale valului cultural denumit structuralist. Regăsim fără mirare un mare număr de teme ce ne sînt familiare la anumiți autori sensibili la problematica „celui dizolvat" *(Là où c'était plusieurs sont venus)*. Acest structuralism statistic sau molecular (A. Moles, Cl. Lévi-Strauss, J.Lacan, R. Jakobson) prezintă o afinitate uimitoare cu partea cea mai avansată din marele pozitivism al anilor 1900 (a se vedea, de exemplu, Wunberg G., *Der frühe Hoffmanstahl*, Stuttgart, W. Kohlhammer Verlag, 1965). Pentru relațiile logice forte care unesc între ele părțile puse în joc în analizele altor autori, vom spune că ele țin de un spirit molar, ce caracterizează aceste mari obiecte culturale reprezentate de soclurile epistemologice ale lui Foucault și structurile cognitive ale lui Piaget (în această problemă a se vedea Prigogine I., «Genèse des structures en physico-chimie» in *Epistémologie génétique et équilibration*, Neuchâtel, Delachoux et Niestlé, 1977). Problema care scapă autorilor menționați este de a ști ce raporturi pot întreține obiectele analizate (complexe, forme, structuri, etc.) cu acele perturbații, zgomote, procese ce le sînt mai mult sau mai puțin intrinsece. Matematicianul va spune că este vorba de problema raportului dintre *structurile algebrice* și *numerele mari*. Acestea din urmă pot fi și ele examinate prin analiza infinitezimală sau pot să se sustragă calculelor ei într-un mod sau altul: regăsim aici subversiunea principiului leibnizian al rațiunii suficiente, prin enunțurile date de R. Musil principiului rațiunii insuficiente. Cititorul se va mira constatînd că îl trimitem încă o dată la lucrările lui M. Serres.

dinilor să determine deschiderea spre ceea ce am relatat mai înainte. Și, deoarece era vorba de a modifica rolul conceptelor, de a strecura anumite probleme într-un peisaj nou, de a introduce întrebări care răstoarnă definiția disciplinelor, într-un cuvînt, deoarece era vorba de a înscrie în știință urgența unor preocupări noi, deschiderea s-a realizat prin căile multiple și uneori ciudate pe care le-am descris.

Poate să sub acest aspect, istoria termodinamicii constituie un exemplu.

Ca punct de plecare i-am dat legea conducției căldurii așa cum a fost ea formulată de Fourier. A fost primul proces intrinsec ireversibil căruia i s-a găsit o expresie matematică și, prin urmare, a provocat scandal: unitatea fizicii matematice, bazată pe legile dinamicii s-a destrămat pentru totdeauna.

Legea lui Fourier descrie un proces spontan — propagarea căldurii — , ea nu dă nici un mijloc pentru a anula sau inversa acest proces, într-un cuvînt, nu oferă posibilitatea de a-l controla. Pentru a controla căldura, dimpotrivă, trebuie *evitată* orice conducție, trebuie evitată orice punere în contact a unor corpuri cu temperaturi diferite. Legea lui Fourier descrie în mod deosebit o iremediabilă risipă atunci cînd este vorba de a folosi căldura pentru a pune în mișcare un motor. De aceea, ciclul lui Carnot, punctul de pornire pentru formularea legilor termodinamicii, poate fi redus la un ansamblu de *artificii* pentru a evita conducția ireversibilă. Termodinamica s-a constituit, așadar, *în legătură* cu ireversibilitatea, dar, totodată, *împotriva* ei, urmărind nu cunoașterea ci economisirea ei. Și entropia lui Clausius va descrie mai întîi anumite conversii de energie calorică și mecanică, perfect controlate și integral reversibile.

Or, după cum se știe, istoria nu s-a oprit aici și ideea că transformările necontrolate, surse de pierderi, contribuie întotdeauna la creșterea ireversibilă a entropiei, s-a transformat în afirmarea unei creșteri: procesele naturale determină

o creştere entropică. Regăsim aici insinuarea, despre care am mai vorbit: interesul pentru procesele naturale, aşa cum se impun într-o problematică inginerească.

Pentru prima dată s-a tematizat nu ceea ce poate fi manipulat, ci tocmai ceea ce prin definiţie scapă manipulării sau nu poate fi supus acesteia decît cu artificii şi cu pierderi. Şi, deci, fizica recunoaşte că dinamica — care descrie natura ca supusă şi controlabilă în fiinţa ei — nu corespunde decît unui caz particular. În termodinamică, caracterul controlabil nu este natural, ci rezultă dintr-un artificiu; tendinţa de a scăpa de dominaţie exprimă o activitate intrinsecă a naturii; pentru ea toate stările nu sînt egale.

Secolul al XIX-lea, obsedat în acelaşi timp de ideea epuizării resurselor şi entuziasmat de perspectivele revoluţiei şi progresului, nu putea, bineînţeles, să refuze recunoaşterea ireversibilităţii. Şi secolul al XX-lea, la rîndul său, a căutat în procesele ireversibile o cheie pentru ceea ce el dorea să înţeleagă din natură, o cheie pentru aceste fenomene cărora trebuia să li se dea un statut fizic, — cu riscul de a renunţa la ideea unei pertinenţe a descrierii fizice în înţelegerea naturii. Dacă pentru interpretarea celui de al doilea principiu, obsesia epuizării, a nivelării diferenţelor de producere a fost hotărîtoare, în ceea ce priveşte istoria care a urmat, modelul biologic a reprezentat sursa hotărîtoare de inspiraţie: abandonarea limitării termodinamicii la sistemele rupte artificial de lume, metamorfozarea ei într-o ştiinţă a lumii populată de fiinţe capabile de evoluţie şi de inovaţie, fiinţe al căror comportament nu-l putem face previzibil şi controlabil, decît aservindu-le.

Termodinamica proceselor ireversibile a descoperit că fluxurile care traversează anumite sisteme fizico-chimice îndepărtîndu-le de echilibru, pot alimenta anumite fenomene de autoorganizare spontană, rupturi de simetrie, evoluţii spre o complexitate şi o diversitate crescînde. Acolo unde se opresc legile generale ale termodinamicii, se

poate revela rolul constructiv al ireversibilității; este domeniul unde lucrurile se nasc și mor sau se transformă într-o istorie singulară care țese caracterul întîmplător al fluctuațiilor și necesitatea legilor.

Sîntem acum mai aproape de această natură asupra căreia, după ecourile slabe care ne-au parvenit, filozofii presocratici își puneau întrebări, sîntem mai aproape de această natură sublunară căreia Aristotel i-a descris puterea de creștere și de degradare, afirmînd ca inseparabile inteligibilitatea și incertitudinea. Căile naturii nu pot fi prevăzute cu certitudine, partea care revine întîmplării este ireductibilă, și mult mai decisivă decît credea însuși Aristotel: natura căreia îi sînt proprii bifurcațiile este aceea în care diferențe mici, fluctuații neînsemnate, dacă se produc în condiții favorabile, pot să invadeze întregul sistem și să genereze un regim de funcționare nou.

Am regăsit această instabilitate intrinsecă a naturii la un alt nivel, la nivelul microscopicului. Acolo am încercat să înțelegem care este statutul ireversibilității, ce statut să dăm elementului aleatoriu, fluctuației statistice, tuturor acestor noțiuni, reunite de știința macroscopică într-un complex nou. Căci într-o lume omogenă descrisă de legile obișnuite ale dinamicii sau de oricare alt sistem de legi de același tip, aceste noțiuni nu ar fi fost decît aproximații, iar perspectivele pe care le-am introdus, doar iluzii.

Ideea că fizica nu poate defini mișcarea moleculară ca determinată, și, prin urmare, că descrierea statistică are un caracter ireductibil, nu este totuși o idee necunoscută în fizică. După cum remarcă istoricul științelor Brush [217], oamenii de știință din secolul al XIX-lea s-au referit adesea la nedeterminare, neregularitate, caracterul aleatoriu al mișcărilor moleculare, pentru a justifica în special folosirea raționamentelor statistice; în arti-

[217] Brush S., "Irreversibility and Indeterminism: from Fourier to Heisenberg", *Journal of the History of Ideas*, vol. 37, 1976, p. 603–630.

colul „Atom", de exemplu, publicat de Maxwell în *Encyclopedia Britannica* în 1875, se spune că neregularitatea mișcării elementare este necesară pentru ca sistemul să se comporte în mod ireversibil. În altă parte, el afirmase însă că această neregularitate este legată de ignoranța noastră. În general, a existat o ambiguitate între ceea ce numim o nedeterminare intrinsecă și o nedeterminare „epistemologică". Această ambiguitate, după cum știm, s-a transformat în opoziție cînd a apărut problema interpretării formalismului cuantic.

Maxwell însuși, vorbind de instabilitatea mișcării, de punctele singulare unde cauze mici produc efecte nemăsurate, întrevăzuse o cheie pentru rezolvarea problemei, pe care astăzi noi o putem da. Dinamica ne permite astăzi să definim sisteme în care aceste puncte singulare se află literalmente *pretutindeni*, în care ele nu lipsesc din nici o regiune din spațiul fazelor, oricît de mică ar fi această regiune.

Din acest moment, problema poate fi formulată în toată generalitatea ei. Idealul omniștiinței se întruchipează în știința traiectoriilor precum și în demonul lui Laplace care le contemplează o clipă și le calculează pentru eternitate. Traiectoriile care ne par atît de reale sînt însă de fapt numai idealizări: niciodată nu le observăm ca atare, căci pentru aceasta ar fi necesară o observație de o precizie infinită: ar trebui să putem atribui unui sistem dinamic o condiție inițială exactă, să-l reperăm într-o stare unică excluzînd orice altă stare *oricît de învecinată am dori-o*. În situațiile în care ne aflăm de obicei, această remarcă este fără consecințe: are prea puțină importanță dacă traiectoria nu este definită decît cu aproximație; dacă trecerea la limită spre valori bine determinate ale condițiilor inițiale nu este realizabilă efectiv, ea poate fi totuși concepută și traiectoria continuă să se profileze ca limită spre care tinde o serie, de precizie crescîndă, a observațiilor noastre. Totuși, pentru această trecere la limită ne-am lovit de două tipuri de obstacole de netre-

cut; este vorba de dezordine, de haosul traiectoriilor pentru sistemele „cu stabilitate slabă" și coerența mișcărilor cuantice determinate de constanta lui Planck. În ambele cazuri, deoarece, respectiv anumite traiectorii divergente se află într-un amestec oricît de intim îl dorim, sau dimpotrivă, pentru că traiectoriile sînt prea solidare, definiția unei stări punctuale unice își pierde sensul, traiectoria nu este numai o idealizare, ci o idealizare inadecvată.

Astfel, dinamica și mecanica cuantică au descoperit limitele intrinsece a ceea ce s-a numit „revoluția științifică" adică caracterul excepțional al situațiilor care au făcut obiectul primului dialog experimental. În mod foarte judicios, primii fizicieni au ales obiecte eminamente reductibile la o modelare matematică, obiecte care toate aparțin clasei destul de restrînse a sistemelor dinamice pentru care traiectoria poate fi definită cu sens. Istoria fizicii contemporane este legată de descoperirea valabilității limitate a conceptelor care au fost puse la punct pentru asemenea sisteme, a căror descriere se poate aprecia ca fiind completă și deterministă, și de descoperirea în însăși cadrul fizicii matematice a lumii „sublunare".

Bineînțeles, sfîrșitul idealului omniștiinței înseamnă sfîrșitul unei probleme ce s-a pus doar la nivel teoretic. Nimeni nu a pretins vreodată că este în măsură să prevadă traiectoriile unui sistem dinamic complex. Chiar demonul lui Laplace apare în introducerea unei lucrări despre probabilități. Demonul lui Laplace nu reprezenta simbolul măiestriei universale, el nu ne garanta posibilitatea de a prevedea orice lucru, el ne prevenea că, din punctul de vedere al *teoriei fizice*, viitorul este conținut în prezent, devenirea și inovația, lumea proceselor în care trăim și din care sîntem formați, sînt, dacă nu iluzii, cel puțin aparențe determinate de modul nostru de observație.

La nivel macroscopic ca și la nivel microscopic, științele naturii s-au eliberat, așadar, de o concepție îngustă asupra realității obiective care-și

închipuie că trebuie să nege din principiu noutatea și diversitatea, în numele unei legi universale imuabile. Ele s-au eliberat de acea fascinație care ne reprezenta raționalitatea ca definitiv închisă iar cunoașterea ca fiind pe cale de încheiere. De acum înainte ele sînt deschise spre imprevizibil pe care nu-l mai consideră ca semn al unei cunoașteri imperfecte, al unui control insuficient. Științele naturii sînt deschise de acum dialogului cu o natură ce nu poate fi dominată dintr-o singură privire teoretică, ci doar explorată, cu o natură deschisă căreia îi aparținem și noi, participînd la construcția ei. Această deschidere a fost foarte bine descrisă de Serge Moscovici, care a botezat-o „revoluție keplerianǎ" în opoziție cu revoluțiile coperniciene care mențin ideea unui punct de vedere absolut. La începutul acestei cărți am citat unele texte care acuzau știința, care o asimilau cu o operă ce dezamăgește lumea. Să-l citǎm acum pe Serge Moscovici care descrie științele care se constituie astăzi:

„Antrenate în această aventură, care este a noastră, științele împrospătează tot ce ating, încălzesc, pretutindeni unde pătrund, pămîntul pe care trăim și adevărurile care ne permit să trăim. La fiecare cotitură se aude nu ecoul unui sfîrșit, nu dangătul de clopote anunțînd o dispariție, ci vocea unei renașteri și a unui început din nou proaspete, a umanității și a materialității încremenite doar o clipă în efemera lor permanență. De aceea, marile descoperiri nu devin cunoscute cînd autorul lor e pe patul de moarte, ca în cazul lui Copernic, ci sînt oferite, ca în cazul lui Kepler, la vîrsta visării cu ochii deschiși și a pasiunilor puternice" [218].

Ne rămîne să trecem acum în revistă cîteva din consecințele metamorfozei științei, a cărei istorie am schițat-o mai sus.

---

[218] Moscovici S. « Quelle unité de l'homme? » în « *Hommes domestiques et hommes sauvages*, Paris, Christian Bourgois, 1974 (p. 297–298).

2. Timpul regăsit

După mai bine de trei secole, fizica a regăsit tema multiplicității timpurilor.

Adeseori se atribuie lui Einstein îndrăzneala de a fi adus timpul la cea de a patra dimensiune. Dar încă Lagrange precum și d'Alembert în *Encyclopédie* au avansat ideea că durata și cele trei dimensiuni spațiale formează un ansamblu de patru dimensiuni. De fapt, afirmația că timpul nu este altceva decît parametrul geometric ce ne permite să numărăm din exterior și că, astfel, el epuizează adevărul devenirii fiecărei ființe naturale, această afirmație este aproape o constantă în tradiția fizică a ultimelor trei veacuri. Astfel, Emile Meyerson a putut să descrie istoria științelor moderne ca realizarea progresivă a ceea ce el considera o prejudecată constitutivă a rațiunii umane: nevoia unei explicații care reduce la identic și la permanent ceea ce este divers și schimbător, și care prin aceasta *elimină timpul*.

În epoca noastră Einstein este cel care întruchipează, în mod viguros, ambiția de a elimina timpul. Și aceasta trecînd prin toate criticile, protestele, toate angoasele stîrnite de afirmațiile sale absolute. Este bine cunoscută scena care a avut loc la Societatea de Filozofie din Paris, la 6 aprilie 1922 [219]. Împotriva lui Einstein, Henri Bergson a încercat să pledeze pentru multiplicitatea timpurilor trăite ce coexistă în unitatea unui timp real; el a încercat să apere evidența intuitivă care ne face să credem că aceste durate multiple participă la o aceeași lume. Să citim răspunsul lui Einstein: el respinge, fără drept de apel, pentru incompetență, acel „timp al filozofilor", fiind sigur că nici un fel de experiență de viață nu poate salva ceea ce știința neagă.

Poate mult mai remarcabil este chiar schimbul de scrisori dintre Einstein și cel mai intim dintre

---

[219] Text reluat în Bergson H., *Mélanges*, Paris, P.U.F., 1972, p. 1340—1346.

prietenii săi, Michele Besso, prietenul din tinerețea sa, petrecută la Zürich. Besso a fost om de știință, dar spre sfîrșitul vieții s-a preocupat tot mai intens de filozofie, de literatură, de tot ceea ce ține de semnificația existenței umane. Din acel moment el nu a încetat să-i pună lui Einstein diferite întrebări: ce este ireversibilitatea? În ce relație se află ea cu legile fizicii? Și Einstein i-a răspuns, cu o răbdare pe care nu a manifestat-o decît pentru acest unic prieten: ireversibilitatea nu este decît o iluzie produsă de anumite condiții inițiale improbabile. Acest dialog fără rezultat s-a repetat pînă la moartea lui Besso cînd, într-o ultimă scrisoare adresată surorii și fiului acestuia, Einstein scria: „Michele a părăsit această lume ciudată înaintea mea. Nu are nici un fel de importanță. Pentru noi ceilalți, fizicieni convinși, distincția între trecut, prezent și viitor nu este decît o iluzie, chiar dacă este permanentă"[220].

În momentul de față fizica nu mai neagă timpul. Ea recunoaște timpul ireversibil al evoluțiilor spre echilibru, timpul ritmic al structurilor, a căror activitate se alimentează din lumea pe care o traversează, timpul bifurcant al evoluțiilor prin instabilitate și amplificarea fluctuațiilor, și chiar acel timp microscopic pe care l-am introdus în ultimul capitol și care indică nedeterminarea evoluțiilor fizice microscopice. Fiecare ființă complexă este formată dintr-o pluralitate de timpuri, legate unele de celelalte prin anumite articulații subtile și multiple. Istoria, fie că este a unei ființe vii sau a unei societăți, nu va putea fi niciodată redusă la simplitatea monotonă a unui timp unic, fie că acest timp se consideră un invariant sau trasează căile unui progres sau ale unei degradări. Opoziția între Carnot și Darwin a cedat locul unei complementarități ce rămîne a fi înțeleasă în fiecare din cazurile ei particulare.

---

[220] *Correspondance Albert Einstein — Michele Besso, 1903-1955*, Paris, Hermann, 1972.

Descoperirea multiplicității timpurilor nu este o „revelație" apărută brusc în știință; dimpotrivă, oamenii de știință de astăzi au încetat să nege ceea ce — ca să spunem așa — *știa toată lumea*. De aceea, istoria științei, care neagă timpul, a fost în același timp o istorie a tensiunilor sociale și culturale.

Ceea ce la început fusese doar un îndrăzneț pariu împotriva tradiției aristotelice dominante, s-a transformat apoi treptat într-o afirmație dogmatică, dirijată împotriva tuturor acelora — chimiști, biologi, medici — care încercau să susțină diversitatea calitativă a naturii. Dar la finele secolului al XIX-lea înfruntarea avea loc pe alt teren; ea nu mai avea loc între oamenii de știință, care erau deja organizați în discipline academice diferențiate, ci între „știință" și restul culturii, îndeosebi filozofia. În anumite opoziții, aproape ierarhic stabilite în interiorul doctrinelor filozofice din acea vreme, putem să vedem o mărturie a înfruntării cu dogmatismul discursului științific. Astfel, noțiunea de „timp trăit" a fenomenologilor, sau opoziția dintre lumea obiectivă a științei și acel *Lebenswelt* de nesesizat ar putea să conțină unele trăsături izvorîte din necesitatea de a înălța un ultim bastion împotriva ravagiilor științei. Am descris pretențiile științei ca fiind legate de una din stările circumscrise din punct de vedere istoric și intelectual, dar pentru unii era vorba de scopuri absolute, referitoare la vocația sau la destinul omului, era vorba de înfruntări ce puneau în joc salvarea sau pierzania omului. Astfel, nu amintește oare Gérard Granel că, în concepția lui Husserl, filozofia, ca meditație a înrădăcinării originare a oricărei experiențe, este în luptă împotriva unei uitări care ar expune omenirea modernă, cu toate științele și eficiențele ei, să locuiască în monumentul ruinat al filozofiei — care, după Husserl a zămislit lumea europeană

și știința sa — precum cetele de maimuțe în templul din Angkor [221].

Există un ansamblu de opoziții, aceea între aparență și realitate — cu întrebarea, cine, știința sau filozofia va fi adevărat judecător — , aceea între știință și ne-știință, aceea între prejudecăți oarbe și știința produsă printr-o ruptură sau printr-o asceză, aceea între știința fundamentelor și știința epifenomenului, opoziții ce structurează terenul unei înfruntări față de care, la ora actuală, am vrea să luăm o distanță cît mai mare. Cît despre fizicieni, aceștia au pierdut în orice caz orice argument *teoretic* pentru a revendica vreun privilegiu oarecare de extrateritorialitate sau de prioritate. Ca oameni de știință ei aparțin culturii la care, la rîndul lor, contribuie.

3. Actori și spectatori

Poate că și de data aceasta istoria vieții lui Einstein ne permite să înțelegem în modul cel mai dramatic sensul transformării suferite de fizică de-a lungul acestui veac. Într-adevăr, Einstein a fost primul care a descoperit fertilitatea *demonstrațiilor de imposibilitate*, atunci cînd din imposibilitatea de a transmite o informație cu o viteză mai mare decît viteza luminii a făcut baza excluderii noțiunii de simultaneitate absolută la distanță, și a construit pe excluderea acestei „inobservabile" teoria relativității. Einstein însuși vedea în acest demers echivalentul demersului care a întemeiat termodinamica pe imposibilitatea unei mișcări perpetue. Unii dintre contemporanii săi, ca de exemplu Heisenberg, și-au dat seama de importanța diferenței dintre cele două imposibilități; în cazul termodinamicii o

[221] Articolul „Husserl", în *Encyclopedia Universalis*, Paris 1971, reluat cu « La crise de l'humanité européenne et la philosophie » de Husserl, de editura de republicări Paulet, Paris, 1975. Această mică fasciculă dovedește că ideea despre „misiunea umană a Occidentului" nu este numai apanajul scientiștilor.

anumită *situație* este definită ca fiind absentă din natură; în cazul relativității *observația* este definită ca fiind imposibilă, cu alte cuvinte, un anumit tip de comunicare între natură și cel care o descrie. Și, în ciuda părerii lui Einstein, tocmai urmărind exemplul lui Einstein, Heisenberg a fondat formalismul cuantic prin excluderea acelor mărimi definite de fizică ca inobservabile.

În ale sale Résumés de cours [222], Merleau-Ponty afirmase că descoperirile „filozofice" ale științei, transformările sale conceptuale fundamentale, adeseori provin *din descoperiri negative*, ocazie și punct de plecare pentru o răsturnare de perspectivă. Demonstrațiile privind imposibilitatea, fie în relativitate, în mecanica cuantică sau în dinamică, ne-au învățat că natura nu putea fi descrisă „din exterior", ca simplu spectator. Descrierea este o comunicare și această comunicare este supusă unor constrîngeri foarte generale, pe care fizica poate să învețe să le recunoască, deoarece aceste constrîngeri ne identifică ca ființe macroscopice situate în lumea fizică. Teoriile fizice presupun de acum înainte definirea posibilităților de comunicare cu natura, descoperirea întrebărilor pe care aceasta nu le poate auzi — dacă nu cumva noi sîntem cei incapabili de a-i auzi răspunsurile.

Chiar natura argumentelor teoretice prin care explicităm noua poziție a descrierilor fizice manifestă acel dublu rol, de actor și de spectator, care ne este de acum înainte atribuit. Astfel, atît în teoria dinamică a sistemelor cu stabilitate slabă, sau în mecanica cuantică, continuăm să ne referim la noțiunile de punct în spațiul fazelor și de traiectorii, care ne definesc pe noi înșine ca spectatori, dar pentru a preciza numaidecît de ce în ambele cazuri este vorba de idealizări inadecvate. Ajungem aici la unele teme legate de „idealism", dar este foarte interesant că, în adoptarea noii poziții conceptuale pe care am descris-o,

---

[222] Merleau-Ponty M., *Résumés de cours 1952—1960*, Paris, Gallimard, 1968, p. 119.

cerințele cele mai determinante sînt acelea care în mod obișnuit se asociază cu „materialismul": a înțelege în așa fel natura, încît afirmația că noi sîntem produsul ei să nu fie o absurditate.

Este posibil să situăm rolul nostru dublu de actor și de spectator într-un context care explicitează situația cunoașterii teoretice, așa cum evoluția din fizică ne permite astăzi să o concepem. Am vrea să punem în evidență articularea coerentă, posibilă astăzi, a ceea ce în știința clasică era o opoziție și anume: observatorul neînsuflețit și obiectul descris dintr-o poziție de zbor. Bineînțeles, a depăși această opoziție, a demonstra că de acum înainte conceptele fizice conțin o referință la observator, nu înseamnă deloc că acest observator trebuie caracterizat din punct de vedere „biologic", „psihologic", sau „filozofic". Fizica se mărginește să-i atribuie acea însușire care constituie condiția necesară pentru orice raport experimental cu natura, distincția între trecut și viitor, dar nevoia de coerență ne conduce să cercetăm dacă fizica poate să regăsească de asemenea acest tip de însușire în lumea macroscopică.

Să pornim așadar, de exemplu, de la acest observator. După cum am arătat, singurul lucru care i se cere este o activitate orientată în timp, fără de care nu se poate concepe nici o explorare a mediului înconjurător — și, *a fortiori*, nici o descriere fizică reversibilă sau ireversibilă: însăși definiția unui aparat de măsură sau pregătirea unui experiment, necesită distincția între „înainte" și „după". Și tocmai pentru că cunoaștem ireversibilitatea devenirii, putem recunoaște mișcarea reversibilă, schimbarea simplă, reductibilă la o echivalență reversibilă între cauză și efect. Dar dinamica clasică constituie, la rîndul ei, un punct de plecare. Căci legile dinamice reversibile constituie *pentru noi* centrul de referință al matematizării naturii. Lumea legică a traiectoriilor reversibile rămîne, așadar, în inima fizicii noastre. Ea constituie o referință conceptuală și tehnică necesară pentru a defini și a descrie domeniul unde

instabilitatea permite introducerea ireversibilității, adică o rupere a simetriei ecuațiilor în raport cu timpul. Dar, lumea reversibilă nu mai înseamnă atunci decît un caz particular și dinamica, echipată cu operatorul entropie, care permite descrierea lumii complexe a proceselor, apare, la rîndul ei, ca punct de plecare: la nivel macroscopic ea poate genera monotona inerție a stărilor de echilibru — stări medii produse prin compensare statistică — dar ea poate genera, de asemenea, singularitatea structurilor disipative născute dintr-o îndepărtare de la echilibru, poate genera în cele din urmă istoria, drumul evolutiv particular care marchează o succesiune de bifurcații. În legătură cu o structură formată în urma unei asemenea evoluții, se poate afirma că activitatea ei este produsul istoriei proprii și conține astfel distincția între trecut și viitor. Bucla este, așadar, închisă; la rîndul său, lumea microscopică este capabilă de a ne oferi punctul de plecare de care avem nevoie pentru orice observație. Să rezumăm, așadar, această schemă circulară:

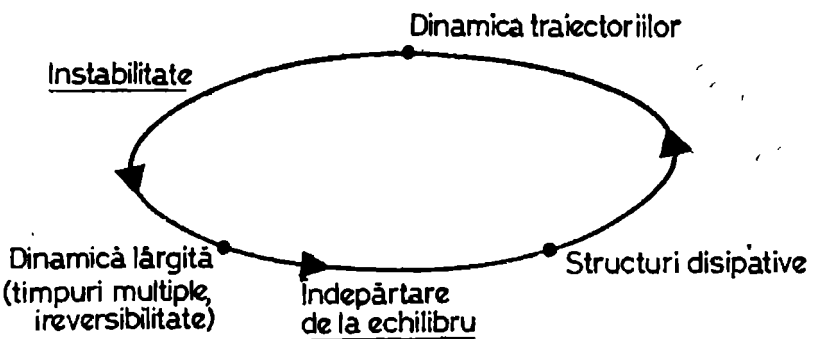

FIG. 52.

Reversibilității strict ideale din dinamica clasică, i se opun două modalități ale devenirii care ne permit să gîndim ireversibilitatea căreia dinamica lărgită îi conferă un sens. Una din aceste modalități, legată de trecut, se îndreaptă cel mai probabil spre echilibru; cealaltă este deschisă spre un viitor mai *istoric*, acela al structurilor disipative care reprezintă șansa singularităților

aleatorii. Dar nici o necesitate logică nu impunea ca în natură să existe efectiv structuri disipative; a fost nevoie de „faptul cosmologic" al unui univers capabil de a menține anumite sisteme departe de echilibru, pentru ca lumea macroscopică să fie o lume populată cu „observatori", adică o *natură*. Schema de mai sus nu exprimă, prin urmare, un adevăr de ordin logic sau epistemologic, ci adevărul situației noastre de ființe macroscopice într-o lume menținută departe de echilibru. Această schemă exprimă, de asemenea, adevărul istoric al fizicii *noastre* care s-a constituit în legătură cu descrierea comportamentelor reversibile și deterministe, cărora nu le mai atribuie astăzi rolul de realitate fundamentală, ci acela de cadru de referință. Ni se pare esențial că această schemă nu presupune nici un mod sau moment fundamental. Fiecare din cele trei moduri este cuprins în lanțul implicațiilor, ceea ce traduce noul tip de coerență internă la care aspiră fizica contemporană.

Schema pe care am descris-o corelează descrieri care, în trecut, cereau fiecare dintre ele dreptul la întîietate. În mod mai general, cînd este vorba de descrierea unor sisteme complexe, sisteme vii sau sociale, care ne interesează în momentul de față, este limpede că o descriere „din zbor" este exclusă mai mult ca oricînd și că orice model teoretic presupune alegerea problemei.

Este important să subliniem această lecție de înțelepciune. Într-adevăr, astăzi, științele denumite „exacte" au ca sarcină de a ieși din laboratoarele în care puțin cîte puțin au învățat să reziste la fascinația căutării adevărului general al naturii. Științele exacte știu de pe acum că nu situațiile idealizate le vor oferi cheia universală; ele trebuie, așadar, să redevină în sfîrșit „științe ale naturii" confruntîndu-se cu bogăția multiplă pe care multă vreme și-au luat dreptul să o uite. De acum înainte, pentru științele exacte se va ridica acea problemă care a împins pe unii la ideea izolării științelor umaniste — fie pentru a le ridica, fie pentru a le coborî — , problema dialogului

necesar cu cunoștințele preexistente, referitor la situațiile proprii fiecărcia din ele. La fel ca și științele despre societate, științele naturii nu vor putea să mai uite rădăcina socială și istorică pe care o presupune familiarizarea necesară cu modelarea teoretică a unei situații concrete. Mai mult ca oricînd este important de a nu face din această înrădăcinare un obstacol iar din relativitatea cunoștințelor noastre să nu tragem concluzii de un relativism deziluzionat. Această urgență a fost deja subliniată de Merleau-Ponty în reflexia sa asupra situației din sociologie; urgența de a gîndi ceea ce el a denumit „un adevăr în interiorul situației":

„Atîta timp cît păstrez în fața mea idealul unui spectator absolut, al unei cunoașteri fără punct de vedere, nu pot să văd în situația mea decît un principiu de eroare. Dar dacă am recunoscut odată că prin ea m-am inserat în orice acțiune și orice cunoștință care poate avea un sens pentru mine, și că, din aproape în aproape, ea conține tot ceea ce poate *să fie* pentru mine, atunci contactul meu cu socialul în finitudinea situației mele mi se dezvăluie ca punct de plecare pentru orice adevăr, inclusiv acela al științei, și deoarece avem o idee despre adevăr, deoarece ne aflăm în interiorul adevărului și nu putem ieși din el, nu-mi rămîne decît să definesc un adevăr în interiorul situației" [223].

Astfel, știința se afirmă astăzi ca știință umană, știință făcută de oameni pentru oameni. În sînul unei populații cu practici cognitive diverse și bogate, știința noastră ocupă poziția singulară de ascultare poetică a naturii — în sensul etimologic în care poetul este un fabricant — , de explorare activă, capacitate de manipulare și de calcul, dar de asemenea, de respect față de natura căreia îi cere să vorbească. Este probabil că această singu-

---

[223] Merleau-Ponty M., «Le philosophie et la sociologie», în *Éloge de la philosophie*, Paris, Gallimard, Colecția Idées, 1960, p. 136—137.

laritate va continua să stîrnească ostilitatea acelora pentru care, orice calcul, orice manipulare sînt suspecte, dar nu va mai fi aceea pe care, în mod foarte legitim trebuiau să o trezească anumite judecăți sumare din știința clasică.

4. Un vîrtej în natura turbulentă

Ne-am menținut pînă aici într-o problematică strict științifică. Nu există, totuși, nici un motiv să ne limităm la aceasta; din toate timpurile filozofia a căutat pe toate căile să găsească răspuns la întrebările ei, și, la rîndul ei, fizica teoretică poate de acum înainte să înțeleagă sensul unor întrebări filozofice care se raportează la situația omului în lume. De exemplu, putem să comentăm transformarea dinamică, de la modelul sistemelor stabile ale căror traiectorii puteau fi calculate, pînă la descoperirea stabilității slabe, printr-o dublă referință filozofică: monadele leibniziene și teoriile lui Lucrețiu, două sisteme filozofice printre acelea care au fost criticate ca fiind cele mai aventuroase [224]. Clinamenul lucrețian, care tulbură „fără rațiune", traiectoriile atomilor lui Lucrețiu, a fost adeseori considerat ca absurd și inconsecvent; monadele lui Leibniz, unități metafizice fără comunicare între ele, „fără ferestre prin care ceva poate să intre sau să iasă" au fost calificate drept „delir logic".

Or, după cum am văzut, orice sistem ale cărui traiectorii pot fi calculate cu exactitate, are proprietatea de a căpăta o „reprezentare privilegiată": în termeni de entități fără interacțiune, astfel încît fiecare desfășoară pe cont propriu, ca și cum ar fi singură pe lume, o mișcare pseudo-inerțială. De-a lungul mișcării sale, fiecare exprimă atunci propria stare inițială, dar coexistă și cu

---

[224] Pentru rîndurile următoare vezi și Prigogine I., Stengers I., și Pahaut S., „La dynamique, de Leibniz à Lucrèce" în *Critique*, vol. 35, Ianuarie 1979, p. 35—55.

toate celelalte într-o armonie prestabilită. În această reprezentare, fiecare stare a fiecărei entități, fiind în același timp perfect autodeterminată, reflectă în fiecare moment starea întregului sistem în cele mai mici amănunte. Avem aici o definiție a monadei leibniziene. Să mergem mai departe: o manieră rapidă de a descrie stările staționare pe care le formează orbitele electronice ale atomului lui Bohr este de a arăta că reprezintă tot atîtea monade.

De acum înainte putem să exprimăm proprietatea fizică descoperită de dinamica hamiltoniană sub forma următoare: orice sistem integrabil în sensul definit în cap. II, admite o reprezentare monadică. Și invers, monadologia leibniziană poate fi exprimată în limbaj dinamic: *Universul este un sistem integrabil.*

Se poate vorbi de coincidență? Echivalența matematică între *reprezentarea newtoniană*, care face apel la mase și la forțe, și *reprezentarea monadică* în care fiecare unitate derulează într-o evoluție spontană legea internă a comportamentului său, în fond nu este oare exprimarea în formă de proprietate fizico-matematică, a faptului că ambele se bazează pe aceeași opțiune filozofică: întîietatea ființei asupra devenirii, a permanenței asupra schimbării. Fără îndoială că Leibniz, părintele dinamicii, nu ignora cele subliniate de Whitehead [225]: forțele newtoniene nu stabilesc decît relații pur exterioare între mase ce reprezintă doar suportul lor indiferent; ele sînt incapabile de a produce altceva decît o devenire reprezentînd veșnica și monotona repetare a unui adevăr invariant.

Dar procesele de absorbție și de emisie de fotoni, sursă de date experimentale care au stat la baza mecanicii cuantice, sînt suficiente pentru a stabili că lucrurile nu se opresc aici: între orbitele electronice „monadice" există o interacțiune ce

---

[225] În legătură cu această problemă se poate consulta Leclerc I., *Whitehead's Metaphysics*, Bloomington, Indiana University Press, 1975.

nu poate fi eliminată de nici o transformare formală.

Fizica proceselor ne conduce la introducerea unei a treia reprezentări, ireductibilă la reprezentările leibniziene și newtoniene, care nu descrie schimbarea nici în termeni de unități bine definite dar autonome și fără interacțiune, nici în termeni de unități greșit definite (dat fiind că există energie potențială „între" ele) și de interacțiuni dintre ele. Cea de a treia reprezentare descrie unități reale (fotoni, electroni) care prin definiție participă la anumite procese disipative ce nu pot fi eliminate prin transformare. Contrar acelor simple „suporturi de forțe" newtoniene, aceste unități presupun o interacțiune ireversibilă cu lumea, existența lor fizică însăși este definită prin devenirea la care participă [226].

Fără a continua mai departe pe linia acestor perspective noi, în scopul de a recunoaște convergența între teoria fizică și doctrina filozofică referitor la legătura dintre ființă și devenire propunem să numim această a treia reprezentare, reprezentarea whiteheadiană. Whitehead scria: „Elucidarea sensului frazei «totul curge» este una din sarcinile majore ale metafizicii" [227]. Fizica și metafizica se întîlnesc astăzi pentru a gîndi o lume în care procesele, devenirea, aparțin existenței fizice și în care, contrar monadelor leibniziene, entitățile existente ar putea să interacționeze și, prin urmare, să se nască și să moară.

O altă interogare filozofică pe care o putem reciti este aceea a materialismului dialectic și a căutării sale pentru a descoperi legi universale care să reflecte devenirea dialectică a naturii. Ca și pentru materialiștii care concepeau o natură, capabilă de istorie, legile mecanicii au constituit pentru noi un obstacol, dar nu le-am declarat eronate în numele unui alt tip de legi universale. Dimpotrivă, atunci cînd am descoperit limitele

---

[226] Aceste perspective sînt dezvoltate în Prigogine I., *From Being to Becoming*, San Francisco, Freeman, 1979.

[227] Whitehead A. N., *Process and Reality*, p. 240—241.

cîmpului lor de aplicare, le-am păstrat caracterul fundamental; ele reprezintă referința tehnică și conceptuală care ne este necesară pentru a descrie și a defini domeniul în care ele nu mai sînt suficiente pentru a determina mișcarea.

Acest rol de referință la o lume legică și ordonată și pentru a vorbi mai tehnic, la teoria monadică a evoluțiilor paralele, este tocmai rolul pe care îl joacă căderea atomilor lucreției în vidul infinit, cădere la fel de paralelă, legică și eternă. Am vorbit mai înainte despre clinamen și despre instabilitatea fluxurilor laminare. Aici se prezintă posibilitatea unei interpretări mai puțin legate de cutare sau cutare fenomen fizic particular. După cum a demonstrat Serres [228], căderea infinită constituie un *model* pentru a gîndi geneza naturală, vîrtejul din care se nasc lucrurile. Fără clinamen, care perturbează căderea verticală și permite întîlniri, chiar asociații între atomii, pînă atunci izolați fiecare în căderea lor monotonă, natura nu ar putea fi creată, căci se perpetuează numai înlănțuirile între cauze și efecte echivalente, guvernate de legile destinului *(foedera fati)*: *Denique si semper motus connectitur omnis et uetere exoritur (semper) nonus ordine certe nec declinando faciunt primordia motus principium quoddam quod fati foedra rumpat, ex infinito ne causam causa sequitur, libera per terras unde heac animantibus exstat ...* ? [229].

S-ar putea spune că Lucrețiu a *inventat* clinamenul, în același sens în care sînt inventate relicvele sau tezaurele arheologice: înainte de a face săpături și de a le descoperi efectiv, „se știe" că ele se află acolo. Și la fel fizica contemporană a inventat timpul ireversibil. Căci dacă nu ar exista

---

[228] Serres M., *La naissance de la physique dans le texte de Lucrèce*, p. 139.

[229] Dacă-n sfîrșit, totdeauna mișcările-s înlănțuite
Și-n rînduială anume ia naștere una din alta,
Dacă atomii nu dau prin abateri mărunte pornire
Unor mișcări oarecare ce frîng legiuirile soartei,
Astfel că nu mai urmează din cauză cauză pururi,
Cum de avem pe pămînt o viață deplin neatîrnată.

decît traiectoriile monotone și reversibile, de unde ar veni procesele ireversibile care ne creează și din care trăim? „Știam" că timpul este ireversibil și de aceea descoperirea stabilității slabe a traiectoriilor unor sisteme a însemnat o sursă de inovație, o șansă pentru lărgirea dinamicii.

Acolo unde traiectoriile încetează de a fi determinate, acolo unde se sparg acele foedera fati care cîrmuiesc lumea ordonată și monotonă a evoluțiilor deterministe, acolo începe natura. Acolo începe, de asemenea, o știință nouă care descrie nașterea, înmulțirea și moartea ființelor naturale. „Știința fizică a căderii, a repetării, a înlănțuirii riguroase este înlocuită cu știința creativă a hazardului și a circumstanțelor" [230]. *Foedera fati* sînt înlocuite prin acele *foedera naturae* despre care Serres spune că desemnează atît „legi" ale naturii, legături locale, singulare, istorice, între lucruri, cît și o „alianță", un contract cu natura.

Cu privire la fizica lucrețiană regăsim astfel legătura pe care am descoperit-o în interiorul cunoașterii moderne, între opțiunile decisive, care stau la baza unei descrieri fizice, și o concepție filozofică, etică sau religioasă referitoare la situația omului în natură. Fizica conexiunilor universale se opune unei alte științe care nu mai luptă împotriva dezordinii sau a nedeterminării în numele legii și al dominației. Știința clasică a fluxurilor, de la Arhimede la Clausius, se opune științei turbulențelor, a evoluțiilor bifurcante, științei care demonstrează că, departe de canale, dezordinea poate da naștere lucrurilor, naturii și oamenilor. „Înțelepciunea elenistică atinge aici unul din punctele ei majore. Acolo unde omul este în lume, aparținînd lumii, în materie, aparținînd materiei, acolo el nu este un străin ci un prieten, un membru al familiei, un comesean și un egal. Întreține cu lucrurile un contact pe bază de iubire. Multe alte înțelepciuni și multe alte științe se bazează, dimpotrivă, pe ruptura contractului. Omul este un străin lumii, zorilor, cerului și lucru-

---

[230] Serres M., *op. cit.*, p. 136.

rilor. El le urăşte şi luptă împotriva lor. Mediul înconjurător este pentru el un inamic cu care este periculos să lupţi, să-l subjugi ... Epicur şi Lucreţiu trăiesc într-un univers reconciliat, în care ştiinţa despre lucruri şi ştiinţa despre om coincid. Eu sînt dezordinea, un vîrtej în natura turbulentă" [231].

5. O ştiinţă deschisă

Putem să ne dedicăm şi unui alt tip de recitire, de data aceasta axat pe modul de dezvoltare propriu ştiinţei. Am descris această dinamică internă a ştiinţei în termenii unei vaste panorame, referindu-ne la probleme ce s-au pus şi s-au repus neîncetat, la schimbări cu ritm lent. În istoria pe care am prezentat-o a existat puţină ireversibilitate reală, puţine probleme definitiv abandonate, perimate. Adeseori evoluţia ştiinţei este comparată cu evoluţia speciilor, în cea mai clasică dintre descrieri: ramificarea disciplinelor din ce în ce mai diverse şi specializate, progres ireversibil şi unidirecţional. Am dori să propunem să trecem de la imaginea biologică la imaginea geologică, deoarece ceea ce am descris se potriveşte mai mult cu o alunecare decît cu o mutaţie. Anumite probleme abandonate sau negate de o disciplină au trecut pe tăcute în altă disciplină, au ţîşnit într-un nou context teoretic. Subteran sau de suprafaţă, parcursul pare să dezvăluie acţiunea tenace a unor probleme care determină legătura profundă, dincolo de proliferarea disciplinelor. Şi adeseori, la intersecţia disciplinelor, la momentul convergenţei între căile de abordare separate, au renăscut probleme ce păreau rezolvate, au putut să persiste sub o formă nouă problemele vechi, anterioare compartimentării disciplinelor.

Din acest punct de vedere, este caracteristic faptul că multe din surprizele conceptuale produse de evoluţia ştiinţelor au apărut cu chipul

---

[231] Serres M., *op. cit.*, p. 162.

fatal al răzbunărilor vechi. Descoperirea spectrelor de emisie și absorbție care a antrenat introducerea noțiunii de operator cuantic și deci îndepărtarea cea mai hotărîtoare în raport cu știința clasică, a maselor și a traiectoriilor, reprezintă oarecum răzbunarea vechilor chimiști care, la vremea lor, nu au reușit să impună ideea despre specificitatea materiei chimice în opoziție cu generalitatea masei. La intersecția dintre dinamică și știința elementelor chimice problema ce se pusese anterior a renăscut și nu a mai putut fi ignorată. Nu este oare răzbunat și Stahl, dat fiind că, la intersecția fertilă între fizico-chimie și biologie, din care s-a născut biologia moleculară, s-a putut auzi afirmația că singurul proces biologic pe care fizica îl poate deduce din legile ei este descompunerea și moartea? Am vorbit mai înainte de revanșa celor învinși de știința newtoniană: în plin triumf al științei newtoniene a răsunat vestea fatală despre legea matematică a propagării căldurii, care, de aici înainte, va transforma pentru totdeauna fizico-chimia într-o știință ireductibilă la dinamica clasică, o știință a proceselor.

Istoria științelor nu beneficiază de simplitatea atribuită evoluției biologice spre specializare, ea este o istorie mai subtilă, mai fină, mai surprinzătoare. Ea este permanent susceptibilă să revină, să regăsească într-un peisaj intelectual transformat, anumite probleme uitate, este capabilă să rupă compartimentările pe care le-a construit și, mai ales, să depășească prejudecățile cele mai profund înrădăcinate, chiar acelea ce par a fi parte integrantă din ea.

O asemenea descriere este într-un contrast net cu analiza psiho-socială prin care Thomas Kuhn a întinerit recent anumite elemente esențiale din concepția pozitivistă a evoluției științelor: evoluție spre specializare și o compartimentare crescîndă a disciplinelor științifice, identificarea comportamentului științific „normal", cu lucrătorul „serios", „tăcut", care nu se oprește la problemele „generale" despre semnificația globală a cercetărilor sale și se mărginește doar la problemele

specializate ale disciplinei sale, autonomie esențială pentru dezvoltarea științifică, în raport cu problemele culturale, economice și sociale [232].

Nu ne propunem să discutăm justețea acestei descrieri a activității științifice. În orice caz, este suficient să subliniem aici caracterul său parțial și istoricește situat. *Istoricește situat*, aceasta înseamnă că activitatea științifică corespunde cu atît mai mult descrierii lui Kuhn, cu cît se desfășoară în contextul universităților moderne, acolo unde se asociază sistematic cercetarea și inițierea viitorilor cercetători, adică în cadrul unei structuri academice pe care o putem urmări de la apariție și de-a lungul secolului al XIX-lea, dar care lipsea cu totul în trecut. Într-adevăr, în această structură găsim cheia științei implicite a „paradigmei" din care Kuhn face baza cercetării normale întreprinse de o comunitate științifică. Refăcînd sub formă de exercițiu problemele-cheie rezolvate de generațiile precedente, studenții învață teoriile care fundamentează cercetarea în cadrul unei comunități, dar învață și criteriile care stabilesc că o problemă este interesantă și că soluția ei este acceptabilă. În acest tip de învățămînt tranziția de la student la cercetător se face fără discontinuitate: cercetătorul continuă rezolvarea acelor probleme identificate ca esențialmente asemănătoare cu problemele model, aplicîndu-le tehnici asemănătoare; este vorba — pur și simplu — de probleme pe care nimeni nu le rezolvase înainte. *Parțial* înseamnă că, chiar în epoca noastră, pentru care descrierea lui Kuhn are un mare grad de pertinență, aceasta nu privește decît cel mult una din dimensiunile activității științifice, mai mult sau mai puțin importantă, în funcție de cercetătorii individuali și de contextul instituțional în care aceștia activează.

Cel mai bine putem preciza această remarcă în legătură cu transformarea paradigmei concepută

[232] Kuhn T., *The Structure of Revolutions*, Ediția a 2-a completată, Chicago. The University Press, 1970, trad. franc. *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion, 1970.

de Kuhn. Transformarea aceasta ar căpăta adesea aspect de criză: paradigma în loc de a fi o normă tăcută, aproape invizibilă, în loc de a „merge fără cuvinte", este discutată, este pusă la îndoială. Membrii comunității în loc de a se concentra în unanimitate asupra rezolvării problemelor recunoscute de toți, pun întrebări „fundamentale", interogînd legitimitatea metodelor lor. Grupul, pe care educația îl făcuse omogen, se diversifică în procesul activității de cercetare, apar diferențe de puncte de vedere între experiențele culturale și convingerile filozofice, și acestea joacă un rol decisiv în descoperirea paradigmei noi. Apariția acesteia mărește și mai mult intensitatea discuțiilor. Domeniile respective de fecunditate ale paradigmelor rivale sînt puse la încercare pînă ce o diferență, stabilizată și amplificată de cercurile academice, hotărăște victoria unuia dintre ele. Încetul cu încetul, odată cu noua generație de oameni de știință se reinstalează tăcerea și unanimitatea, se scriu manuale noi și, odată mai mult, se consideră că totul merge de la sine.

În această optică, motorul inovației științifice îl constituie tocmai comportamentul intens conservator al comunităților științifice care aplică naturii cu încăpățînare, aceleași tehnici, aceleași concepte și ajung să întîmpine din partea naturii o rezistență tot atît de îndîrjită: natura refuză să se exprime în limbajul pe care-l presupun regulile paradigmatice, și criza pe care am descris-o izbucnește cu o forță cu atît mai mare cu cît domnea o încredere oarbă. De acum înainte toate resursele intelectuale se consacră cercetării unui nou limbaj în jurul unui ansamblu de probleme considerate acum ca hotărîtoare, și anume: problemele care au generat rezistența naturii. Comunitățile științifice provoacă astfel crize în mod sistematic, dar acest lucru doar în măsura în care nu le caută.

Întrebarea pe care am hotărît s-o punem istoriei științelor ne-a condus la explorarea unor dimensiuni foarte diferite de acelea care-l interesează pe Kuhn. Ceea ce ne-a reținut mai mult

au fost continuitățile, nu continuitățile „evidente", ci acelea mai ascunse, întrebări pe care unii oameni de știință și le-au pus neîncetat. Ni se pare că nu trebuie să căutăm să înțelegem de ce, din generație în generație, oamenii de știință au continuat să discute despre specificitatea comportamentelor complexe, despre ireductibilitatea științei focului și despre transformările materiei la descrierea maselor și a traiectoriilor; întrebarea ce se pune este mai ales de ce asemenea probleme, problemele ridicate de Stahl, Diderot, Venel au putut fi date uitării.

În ultimul veac, istoria fizicii ne prezintă, desigur, cîteva crize asemănătoare descrierilor lui Kuhn, crize pe care oamenii de știință le suportă fără să le fi căutat, crize care au fost, firește provocate de unele preocupări filozofice, dar numai într-o situație de instabilitate determinată de încercarea infructuoasă de a extinde o paradigmă la unele fenomene naturale. Istoria fizicii ne arată însă și serii de probleme generate lucid și deliberat de anumite preocupări filozofice. Și ea stabilește fecunditatea unui astfel de demers. Omului de știință nu-i este hărăzit să se comporte ca un somnambul kuhnian; fără a renunța din acest motiv a se comporta ca om de știință, el poate *lua inițiativa*, poate încerca să integreze în știință perspective și probleme noi.

Istoria științelor, ca orice istorie socială, este un proces complex în care coexistă evenimente determinate de interacțiuni locale și proiecte informate de concepții globale asupra menirii științei și ambiției de cunoaștere. Este, totodată, o dramatică istorie a unor ambiții dezamăgite, a unor idei eșuate, a unor împliniri deturnate de la semnificația ce ar fi trebuit s-o aibă. Einstein și de data aceasta poate să constituie un exemplu. El, care prin relativitate, prin cuantificarea energiei, prin modelul cosmologic, a dat primele lovituri concepției clasice despre lume și cunoaștere, în timp ce permanent, proiectul său a însemnat întoarcerea spre o descriere universală completă și deterministă a lumii fizice. Această distanță ce

nu poate fi stăpînită, între intenţiile individuale ale actorilor şi semnificaţia efectivă atribuită acţiunilor lor de contextul global, a fost într-adevăr drama lui Einstein.

6. Interogarea ştiinţifică

Am pledat pînă acum pentru recunoaşterea caracterului funciarmente deschis al ştiinţei, şi, îndeosebi, pentru ca fertilitatea comunicărilor între întrebările filozofice şi cele ştiinţifice să nu mai fie negată prin compartimentări, sau distrusă printr-un raport de înfruntare. Am vorbit despre „ratificarea" filozofică a pretenţiilor ştiinţei clasice care a îngăduit anumitor filozofi să situeze şi să imobilizeze demersul ştiinţific, luîndu-şi apoi dreptul de a-l ignora. Multă vreme această strategie a fost determinată, în ciuda unor proteste ca acela al lui Maurice Merleau-Ponty atunci cînd scria ceea ce, dintr-un anumit punct de vedere, ar putea constitui cea mai bună definiţie a temelor şi a obiectivelor acestei cărţi:

„Recursul la ştiinţă nu are nevoie de justificare: orice părere avem despre filozofie, aceasta trebuie să elucideze experienţa şi ştiinţa reprezintă un sector din experienţa noastră ... Este imposibil să o recuzăm dinainte sub pretextul că ea acţionează pe linia unor anumite prejudecăţi ontologice: dacă acestea sînt prejudecăţi, în vagabondajul ei prin fiinţă, ştiinţa însăşi va găsi desigur ocazia de a le recuza. Fiinţa îşi croieşte drum prin ştiinţă ca şi prin orice viaţă individuală. Prin interogarea ştiinţei, filozofia va cîştiga, întîlnind anumite articulaţii ale fiinţei pe care altfel le-ar descoperi mai greu" [233].

Totuşi, dacă nici un privilegiu, nici o prioritate, nici o limită definitiv fixată nu determină în mod stabil diferenţa între interogările ştiinţifice

---

[233] Merleau-Ponty M., *Résumés de cours, 1952—1960*, p. 117—118.

și filozofice, aceasta nu înseamnă că ele sînt identice sau că se pot substitui. Sîntem de părere că este vorba de complementaritatea cunoașterii care, în cele două cazuri, reprezintă traducerea unor preocupări ce aparțin unei culturi și unei epoci, după reguli mai mult sau mai puțin riguroase. Este vorba, deci, de problema regulilor, a metodelor, a constrîngerilor.

În această carte am explorat unele din constrîngerile la care este supusă interogarea științifică. Pe de o parte, dialogul experimental limitează în el însuși libertatea omului de știință; acesta nu face ce vrea, natura dezminte ipotezele sale cele mai seducătoare, teoriile sale cele mai profunde. De unde, între altele, ritmul lent al științei în ce privește explorarea conceptuală și tentația continuu prezentă de a extrapola la extrem acele rare și limitate „da"-uri obținute de la natură. Am văzut că „triumful" științei traiectoriilor a avut de fapt ca limită o problemă atît de simplă ca cea a celor trei corpuri. Pe de altă parte, o a doua constrîngere tot atît de fecundă ca și cea dintîi, dar pusă în evidență mai recent, este interdicția de a clădi o teorie pe mărimi care în principiu se definesc ca neobservabile. Iată aici o interesantă întorsătură. Multă vreme obiectivitatea științifică a fost definită prin absența referirii la observator. De acum înainte ea este definită printr-o referință ce nu poate fi depășită din punct de vedere uman — de exemplu, o referință la om sau la bacterie, acest alt locuitor al lumii macroscopice, a cărei mișcare reprezintă într-adevăr o activitate de explorare, deoarece presupune orientarea în timp și capacitatea de a reacționa ireversibil față de modificările chimice ale mediului. Multă vreme definită prin căutarea unui punct de vedere de zbor absolut, știința noastră apare în cele din urmă ca o știință „centrată", descrierile pe care ni le oferă sînt situate, exprimă situația noastră în cadrul lumii fizice.

Este posibil ca în filozofie situația să se prezinte într-un mod oarecum diferit. În această privință am vrea să încercăm să facem un bilanț și să ne

asumăm riscul unei ipoteze. În cursul acestui studiu ne-am inspirat de la un anumit număr de filozofi; am citat pe unii dintre ei, care aparţin epocii noastre, precum Serres sau Deleuze, sau istoriei filozofiei, ca de pildă Lucreţiu, Leibniz, Bergson şi Whitehead. Nu avem intenţia să procedăm la vreun amalgam oarecare, ni se pare însă că cel puţin o trăsătură uneşte pe toţi cei care ne-au ajutat să gîndim metamorfoza conceptuală a ştiinţei şi implicaţiile ei; este tentativa de a vorbi despre lume, fără a trece prin tribunalul kantian, fără a pune în centrul sistemului subiectul uman definit prin categoriile sale intelectuale, fără a supune părerile lor criteriului a ceea ce în mod legitim poate gîndi un asemenea subiect. Pe scurt, este vorba de gînditori precritici sau acritici.

Cum să evaluăm faptul că, pentru a medita la descoperirea de către fizica contemporană a caracterului ei centrat am găsit inspiraţie la filozofi cu o gîndire necentrată pe subiectul uman? Ipoteza pe care am vrea s-o propunem este următoarea: şi pentru aceşti filozofi este vorba de un demers *experimental*. Nu o experimentare asupra naturii ci asupra conceptelor şi articulaţiilor lor reciproce, o experimentare în arta de a pune problemele şi de a urmări consecinţele cu o extremă rigoare.

Această concepţie despre experimentarea filozofică cu gradele ei de libertate dar şi de constrîngeri proprii, a fost limpede exprimată de Whitehead. Astfel, filozofia nu poate recurge la strategia care fundamentează dialogul experimental al ştiinţei cu natura: strategia care stabileşte o preferinţă între ceea ce este interesant şi ceea ce poate fi neglijat: „Filozofia îşi distruge propria utilitate cînd se complace în strălucita acţiune de a explica prin negare“ [234].

În ipoteza noastră se vede că nu trebuie să se opună experimentul ştiinţific şi cel filozofic,

---

[234] Whitehead A. N., *Process and Reality*, p. 20.

așa cum se opun concretul și abstractul. Whitehead a inversat chiar această opoziție rezervînd filozofiei sarcina ca, prin jocul conceptelor, să producă experiențe reale în întreaga lor bogăție concretă. Deleuze merge pînă acolo încît, în legătură cu o asemenea ambiție filozofică, vorbește de *empirism*. „Empirismul nu este deloc o reacție împotriva conceptelor, nici un simplu apel la experiența trăită. Dimpotrivă, el creează un noian de concepte. Empirismul este misticismul conceptului și matematizarea acestuia. Dar el tratează tocmai conceptul ca pe obiectul unei întîlniri, ca pe un aici-acum, sau mai curînd ca pe un *Erewhon* (N.B. — Loc utopic imaginat de Samuel Butler, semnificînd în același timp „aici și acum" și „nicăieri"), din care ies, inepuizabili, acei «acum» și „aici" veșnic noi, distribuiți diferit. Numai filozoful empiric poate spune: conceptele sînt chiar lucrurile, dar lucrurile în stare liberă și sălbatică, dincolo de predicatele antropologice. Conceptele mele, le fac, le refac și le desfac, pornind de la un orizont în mișcare, de la un centru mereu descentrat, de la o periferie care permanent este deplasată și le deplasează, le diferențiază" [235]. *Erewhon* prin excelență inobservabil, din care țîșnesc acei acum și aici, multiplicitatea experiențelor reale, reprezintă, desigur, o gîndire destul de ciudată pentru noi care, din excluderea a ceea ce este în principiu inobservabil, am făcut resursa unei noi invenții. Și totuși, tocmai gîndind inobservabilul, monadele, clinamenul, obiectele eterne, filozofii au „precedat" în unele cazuri știința, au explorat conceptele și implicațiile lor cu mult înainte ca știința să le pună în acțiune sau să descopere puterea lor coercitivă. Iată, fără îndoială, prețul riscului acceptat de către cei care nu se mărginesc să utilizeze forțele imaginației în mod euristic pentru a inspira ipoteze experimentale și teoretice, ci le ridică la cea mai mare intensitate printr-o acută nevoie de coerență și de precizie.

---

[235] Deleuze G., *Différence et répétition*, p. 4.

Subliniem aici încă o dată o convergență în care se dezvăluie coerența culturală a unei epoci. După expresia lui Deleuze [236], filozofii pe care i-am citat, ne-au dat mijloacele de a trece „de la știință la visare și invers" căci ei au fost conduși de „imaginația care traversează toate domeniile, ordine și nivelurile, dărîmînd toate compartimentele, coexistînd în lume, călăuzindu-ne trupul și inspirîndu-ne sufletul, temîndu-ne de unitatea naturii și a spiritului". Dar invers, Deleuze a făcut apel la natură și la științele naturii pentru a descrie forțele imaginației și a evita orice referință la omul filozofiei tradiționale, subiect activ, înzestrat cu proiecte, cu intenții, cu voință. „Ideea — scrie el — ne transformă în niște larve eliminînd identitatea Eului ca și asemănarea cu Mine" [237]. În momentul în care încercăm să înțelegem „dramatizarea", mișcarea teribilă suportată de acela care devine prada unei idei, în care se întruchipează o idee, trebuie să ne gîndim la acea larvă, capabilă (contrar organismului ce se află angajat într-o activitate stabilă) de a suporta mișcări teribile, alunecări, rotațiuni; trebuie să ne gîndim la acele procese pe care încearcă să le descrie științele naturii. „Dramatizarea se petrece în capul visătorului, dar la fel de bine și sub ochiul critic al savantului" [238], dramatizarea psihologică își găsește ecouri în procesele geologice, geografice, biologice, ecologice, care creează spații, modelează și răscolesc peisajele, determină în ele migrații, competiții sau amplificări reciproce între procesele de creștere, proliferări, eroziuni lente și dezintegrări brutale.

7. Metamorfozele naturii

Metamorfoza științelor contemporane nu reprezintă o ruptură. Considerăm, dimpotrivă, că ea ne face să înțelegem semnificația și înțelepciunea

[236] Deleuze G., *op. cit.*, p. 284.
[237] Deleuze G., *op. cit.*, p. 283.
[238] Deleuze G., *op. cit.*, p. 282.

cunoștințelor și practicilor vechi pe care știința modernă, axată pe modelul unei activități tehnice automatizate, crezuse că le poate neglija. Michel Serres evocă astfel adeseori respectul nutrit de țărani și de marinari față de lumea în care trăiesc. Aceștia știu că nu putem comanda timpului și că procesul de creștere a ființelor vii, proces de transformare autonomă denumit de greci *physis* nu poate fi grăbit. În acest sens știința noastră a devenit, în sfîrșit, o știință fizică pentru că a admis, în sfîrșit, autonomia lucrurilor, și *nu numai a lucrurilor vii*. Vorbeam în introducere despre „noua stare a naturii" la a cărei existență contribuie activitatea umană. Ca și dezvoltarea plantelor, dezvoltarea practicilor sociale și culturale, creșterea orașelor, reprezintă acele procese continui și autonome în care putem, desigur, să intervenim, modificîndu-le sau organizîndu-le, dar respectîndu-le timpul lor intrinsec de dezvoltare sub amenințarea eșecului [239]. Problema pusă de interacțiunea populațiilor umane și a populațiilor de mașini, nu are nimic comun cu problema relativ simplă și ușor de dominat, a construcției unei mașini oarecare. Pentru a fi înțeleasă, lumea tehnică, la a cărei creație a contribuit știința clasică, are nevoie de concepte foarte diferite de acelea ale acestei științe.

În momentul în care descoperim natura în sensul de *physis* putem să începem, de asemenea, să înțelegem complexitatea problemelor cu care sînt confruntate științele despre societate. În momentul în care aflăm de „respectul" pe care teoria fizică ni-l impune față de natură, trebuie să învățăm să respectăm la fel și celelalte abordări intelectuale, fie că este vorba de abordările tradiționale, ale marinarilor sau țăranilor, fie că este vorba de abordările generate de alte științe. Trebuie să învățăm nu numai să judecăm multitudinea de cunoștințe, de practici, multitudinea culturilor produse de societatea omenească, ci să le încruci-

---

[239] Serres M., *op. cit.*, p. 85—86 și „Roumain et Faulkner traduisant l'Ecriture", în *La Traduction*, Paris, Minuit, 1974.

șăm, să stabilim între ele legături inedite care să ne permită să facem față cerințelor fără precedent ale epocii noastre.

Care este oare acea lume care ne-a reînvățat necesitatea respectului? Am evocat succesiv concepția lumii clasice și lumea în evoluție a secolului al XIX-lea. În ambele cazuri era vorba de dominația și de dualismul care opune pe cel care controlează și cel care este controlat, stăpînul și supusul. Fie că natura este un orologiu sau un motor, fie că este drumul spre un progres care o duce spre noi, ea constituie o realitate stabilă de care putem fi siguri. Ce putem spune despre lumea noastră, care a alimentat metamorfoza contemporană a științei? Este o lume pe care o putem înțelege ca fiind naturală din momentul în care înțelegem că-i aparținem, dar din care dintr-odată au dispărut vechile certitudini: fie că este vorba de muzică, de pictură, de literatură sau de moravuri, nici un model nu mai poate avea pretenția legitimității, nici unul nu mai poate fi exclusiv. Pretutindeni în jurul nostră asistăm la o experimentare multiplă, mai mult sau mai puțin riscată, efemeră sau reușită.

Această lume care pare să renunțe la securitatea normelor stabile și permanente este cert o lume periculoasă și nesigură. Nu poate să ne inspire nici un fel de încredere oarbă, poate însă mai curînd să ne dea sentimentul unei speranțe temperate pe care unele texte străvechi au atribuit-o, se pare, Dumnezeului Facerii: „Douăzeci și șase de încercări au precedat facerea actuală și toate au fost sortite eșecului. Lumea omului a ieșit din haosul acestor rămășițe anterioare dar nu posedă nici o marcă de garanție: și ea este expusă riscului unui eșec și al întoarcerii în neant. „Să sperăm că va dăinui" (Halvai Șeiamod), strigă Dumnezeu creînd lumea, și această speranță însoțește istoria ulterioară a lumii și a umanității, subliniind de

la început că această istorie poartă semnul insecurității radicale" [240].

Acest climat cultural generează și amplifică descoperirea unor obiecte nebănuite, a unor quasari cu energii formidabile, a unor fascinante găuri negre, precum și descoperirea pe pămînt a diversității experiențelor realizate de natură, în sfîrșit, descoperirea teoretică a problemelor de instabilități, proliferări, migrații, structurări. Acolo unde știința ne dezvăluise o stabilitate imuabilă și pacificată înțelegem că nici o organizare, nici o stabilitate nu este garantată sau legitimă ca atare, nici una nu se impune de drept, toate sînt produsele întîmplărilor și sînt la dispoziția întîmplărilor.

De altfel, Jacques Monod avea dreptate, vechea alianță animistă a murit într-adevăr și, odată cu ea, toate celelalte care ne prezentau ca subiecți voluntari, conștienți, înzestrați cu proiecte, închiși într-o identitate stabilă și în obiceiuri bine stabilite, cetățeni într-o lume făcută pentru noi. A murit într-adevăr acea lume finalizată, statică și armonioasă pe care a distrus-o revoluția copernicianā atunci cînd a aruncat Pămîntul în spațiile infinite. Dar lumea noastră nu este nici lumea unei „alianțe moderne", nu este nici lumea tăcută și monotonă golită de vechile vrăji, lumea orologiu asupra căreia am primit jurisdicția. Natura nu este făcută pentru noi și ea nu este pusă la dispoziția voinței noastre. A venit timpul pe care-l prevestea Jacques Monod de a ne asuma riscurile aventurii umane, dar dacă putem face acest lucru, este pentru că, de acum înainte acesta este modul participării noastre la evoluția culturală și naturală, aceasta este lecția pe care o enunță natura atunci cînd știm s-o ascultăm. Cunoașterea științifică smulsă din visurile unei revelații inspi-

---

[240] Neher A., „Vision du temps et de l'histoire dans la culture juive" în *Les cultures et le temps*, Paris, Payot, 1971, p. 179.

rate, adică supranaturale, se poate dezvălui astăzi atît ca „audiție poetică" a naturii, cît și ca proces natural în natură, proces deschis de producție și inovație într-o lume deschisă, productivă și inovatoare. A sosit timpul unor noi alianțe, dintotdeauna închegate, multă vreme neînțelese, între istoria oamenilor, a societăților, a cunoștințelor lor și aventura de explorare a naturii.

Cuprins

Prefață de Ionel I. Purica 5

Introducere, trad. Z. Manolescu..... 19

CARTEA I

ILUZIA UNIVERSALULUI: ȘTIINȚA CLASICĂ.... 47

Capitolul I

PROIECTUL ȘTIINȚEI MODERNE, trad. C. Boico.. 47

1. Noul Moise 47
2. Lumea dezamăgită 51
3. Sinteza newtoniană 59
4. Dialogul experimental 65
5. Mitul la originile științei..... 70
6. Mitul științific astăzi..... 80

Capitolul II

IDENTIFICAREA REALULUI, trad. C. Boico..... 87

1. Legile lui Newton 87
2. Mișcare și devenire 94
3. Limbajul dinamicii 105
4. Dinamica și demonul lui Laplace..... 115

Capitolul III

CELE DOUĂ CULTURI, trad. C. Boico..... 121

1. Discursul viului..... 121
2. Ratificarea critică..... 129
3. O filozofie a naturii?..... 134

CARTEA A II-A
ŞTIINŢA COMPLEXULUI 150

Capitolul IV
ENERGIA ŞI ERA INDUSTRIALĂ, trad. C. Boico 150
1. Căldura, rivală a gravitaţiei 150
2. Principiul conservării energiei 157
3. De la maşinile termice la săgeata timpului 164
4. Principiul de ordine al lui Boltzmann 177

Capitolul V
CELE TREI STADII ALE TERMODINAMICII, trad. Z. Manolescu 185
1. Flux şi forţe 185
2. Termodinamica lineară 192
3. Departe-de-echilibru 195
4. Dincolo de pragul instabilităţii chimice 203
5. Întîlnirea cu biologia moleculară 211
6. Bifurcaţiile şi ruperea simetriei 219
7. Bifurcaţii în cascadă şi trecerea la haos 228
8. De la Euclid la Aristotel 232

Capitolul VI
ORDINE PRIN FLUCTUAŢII, trad. Z. Manolescu.. 244
1. Între haos şi ordine 244
2. Legea numerelor mari 246
3. Stabilitatea structurală 256
4. Evoluţiile logistice 262
5. Feed-back-uri evolutive 267
6. Modelizările complexităţii 269
7. O lume deschisă 279

CARTEA A III-A
DE LA FIINŢĂ LA DEVENIRE 286

Capitolul VII
CIOCNIREA DOCTRINELOR, trad. C. Boico..... 286
1. Descoperirea lui Boltzmann 286
2. Dinamica şi termodinamica: două lumi separate .. 294
3. Ansamblurile lui Gibbs 297
4. Interpretarea subiectivistă a reversibilităţii 301

Capitolul VIII
REÎNNOIREA ŞTIINŢEI CONTEMPORANE, trad. Z. Manolescu 308

1. Dincolo de simplitatea microscopicului..... 308
2. Sfîrşitul universalităţii..... 313
3. Sfîrşitul obiectului galilean: mecanica cuantică.... 315
4. Relaţia de incertitudine a lui Heisenberg..... 320
5. Lumea tăcută a mecanicii cuantice..... 325
6. Evoluţia în timpul sistemelor cuantice..... 327
7. Redescoperirea timpului 332

Capitolul IX
CRONOMETRAREA SPAŢIULUI, trad. Z. Manolescu 335

1. Vîrtejul timpului..... 335
2. Entropia şi săgeata timpului..... 337
3. Limitele conceptelor clasice..... 342
4. Reînnoirea dinamicii..... 346
5. Timpul intern 354
6. De la dinamică la probabilităţi..... 362
7. Un univers participator..... 369
8. Dinamica corelaţiilor 371
9. Entropia şi ordinea dinamică intrinsecă..... 375

Concluzii
NOUA VRAJĂ A LUMII, trad. C. Boico..... 378

1. Sfîrşitul omniştiinţei 378
2. Timpul regăsit 390
3. Actori şi spectatori..... 393
4. Un vîrtej în natura turbulentă..... 399
5. O ştiinţă deschisă 404
6. Interogarea ştiinţifică 409
7. Metamorfozele naturii..... 413

Tehnoredactor: FLORIAN SĂPUNĂRESCU

Format 24/60×90. Coli editură 21,46. Coli tipar 17,67
Bun de tipar 14 decembrie 1983. Apărut iunie 1984

comanda nr 9696/590
Întreprinderea poligrafică
„13 Decembrie 1918".
str. Grigore Alexandrescu nr. 89-97,
București,
Republica Socialistă România

ÎN COLECȚIA „IDEI CONTEMPORANE"
AU APĂRUT:

* * * Știință și sinteză — Colocviu UNESCO
R. Garaudy: Marxismul secolului XX
G. N. Volkov: Sociologia științei
L. Althusser: Citindu-l pe Marx
V. Roman: Revoluția științifică și tehnică. Eseuri
R. Richta și colectiv: Civilizația la răscruce
M. Dufrenne: Pentru om
L. Goldmann: Sociologia literaturii
P. V. Kopnin: Bazele logice ale științei
I. Nikolov: Cibernetica și economia
N. Wiener: Sînt matematician
N. N. Constantinescu: Problema contradicției în economia socialistă
I. Hermann: Kitsch-ul, fenomen al pseudoartei
A. Pelletier, J. J. Goblot: Materialismul istoric și istoria civilizațiilor
A. Toffler: Șocul viitorului
R. Florian: Reflecții asupra filozofiei marxiste
* * * Mutații contemporane în știință și tehnică și implicațiile lor
* * * Știință, filozofie, ideologie
M. Drăgănescu: Muncă și economie
* * * Revoluția științifică-tehnică și progresul
L. Sève: Marxismul și teoria personalității
G. Lukács: Ontologia existenței sociale
* * * Revoluția socialistă și revoluția științifică-tehnică
M. McLuhan: Galaxia Gutenberg
M. Mesarović, E. Pestel: Omenirea la răspîntie
C. Wright Mills: Imaginația sociologică
T. Kotarbinski: Tratat despre lucrul bine făcut
* * * Revoluția științifică-tehnică și modernizarea forțelor de producție
M. Drăgănescu: Sistem și civilizație
E. Bonnefous: Omul sau natura?
C. I. Gulian: Marxism și structuralism
N. N. Constantinescu: Economia protecției mediului natural
I. T. Frolov: Progresul științei și viitorul omului
H. Marcuse: Scrieri filozofice
N. P. Dubinin: Mișcarea eternă
* * * Problemele păcii și ale războiului în condițiile revoluției științifice și tehnice. Necesitatea istorică a dezarmării
W. Heisenberg: Pași peste granițe
Coordonator J. Tinbergen: Restructurarea ordinii internaționale
C. Lévy-Strauss: Antropologia structurală
* * * Corelația dintre infrastructura, structura și suprastructura societății socialiste din România în condițiile revoluției științifice și tehnice
N. Georgescu-Roegen: Legea entropiei și procesul economic
A. Toynbee: Orașele în mișcare
B. G. Kuznețov: Rațiune și ființare
E. Schrödinger: Ce este viața? ● Spirit și materie
B. Commoner: Cercul care se închide (Natura, Omul și Tehnica)
G. Prestipino: Natură și societate
L. de Broglie: Certitudinile și incertitudinile științei
* * * Procese revoluționare în știință și tehnică și dezvoltarea societății

(Continuare pe contrapagină)

EDITURA POLITICĂ

Lei 18